This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`

GODFREY LOWELL CABOT SCIENCE LIBRARY
of the Harvard College Library

This book is
FRAGILE
and circulates only with permission.
Please handle with care
and consult a staff member
before photocopying.

Thanks for your help in preserving
Harvard's library collections.

Eng
1308
05

TRAITÉ

PRATIQUE ET THÉORIQUE

DES MINES.

STRASBOURG,
DE L'IMPRIMERIE DE LEVRAULT.

TRAITÉ

PRATIQUE ET THÉORIQUE

DES MINES,

PAR MM.

H. GUMPERTZ ET LEBRUN,

OFFICIERS DE MINEURS.

Artem experientia fecit.

A PARIS.

LEVRAULT, SCHŒLL ET C.ie, RUE DE SEINE,

ET MAGIMEL, LIBRAIRE, QUAI DES AUGUSTINS.

AN XIII. (1805).

Eng 1308.05

HARVARD COLLEGE
JUN 5 1923
LIBRARY
DEBRAND FUND

ERRATA.

Pag. 7, *lig.* 9 : la contrescarpe; *lisez* une contrescarpe.

12, 3.e *colonne du tableau*, *ligne* 4 *de la tête* : et au-dessus; *lisez* et au-dessous.

47 *lig.* 15 : (3^{pieds} 1^{pouce}); *lisez* ($3^{\text{pi.}}$,1224).

102, *lig.* 7 : par rapport à la ligne; *lisez* de la ligne.

117, *lig.* 21 : *effacez le dernier signe* x.

180, *lig.* 18 : recherché; *lisez* écouté.

188, *lig.* 7 : défense ; et il n'en aura ; *lisez* défense, dont il n'aura.

PRÉFACE.

Les officiers qui ont consacré leurs loisirs à ces Essais ont fait toute la dernière guerre, et ont eu beaucoup d'occasions d'employer les mines. Toute leur théorie est appuyée sur des faits; et jamais ils n'annoncent un nouveau principe sur cette partie de la science militaire, sans mettre à côté, comme preuve, des résultats extraits de leurs travaux pratiques.

Dans cet ouvrage le système de M. de Rugy, dont il n'est presque pas parlé ailleurs, est détaillé dans toutes ses parties, et comparé à celui de M. Mouzé. C'est la première fois que le public connoisseur pourra prendre une entière connoissance du travail de M. de Rugy, exécuté au polygone de Verdun pendant les vingt années qui ont précédé la dernière guerre, qui l'a vu détruire.

Un système neuf, mais simple et facile à construire, et dans lequel la position des fourneaux

n'est déterminée que par la marche de l'attaquant, est exposé dans la III.e Partie.

On a inséré dans les Notes une manière, aisée et rigoureusement démontrée, d'obtenir la charge d'un fourneau quelconque pour lui faire produire un entonnoir donné. Ce sujet, qui a occupé tous les mineurs et sur lequel on n'est point encore d'accord, est la partie que les auteurs regardent comme la plus importante et la plus heureuse de leur travail.

On a donné un traité complet des démolitions: personne encore, pas même M. Mouzé, n'avoit abordé cette matière.

Enfin, entre autres idées nouvelles, on trouve dans cet ouvrage la description d'un niveau de feu, imaginé pour niveler exactement et promptement les galeries, et celle d'un nouveau trépan, beaucoup plus commode que celui qu'on emploie.

TABLE.

PREMIÈRE PARTIE.

Main d'œuvre.

pag.

SECTION PREMIÈRE. *Définitions et notions préliminaires* 1

SECTION II. *Introduction à la main d'œuvre* 4

SECTION III. *Construction souterraine d'une galerie en bois* 5

SECTION IV. *Construction d'un puits et d'une galerie.* 10

SECTION V. *Considérations sur les constructions souterraines en bois dans les mauvais terrains* 16

SECTION VI. *Détail de l'exécution des* retours *des galeries, des rameaux dits* à la hollandoise, *et des fourneaux* 19

SECTION VII. *Constructions en bois à ciel ouvert* . . 25

SECTION VIII. *Construction en bois des emplacemens appelés* cases 29

SECTION IX. *Des constructions en maçonnerie.* 31

SECTION X. *Détails d'exécution sous œuvre.* 32

SECTION XI. *Détails d'exécution à ciel ouvert* . . . 35

SECTION XII. *Construction des cases en maçonnerie,* 39

SECTION XIII. *Construction souterraine des galeries dans les terrains qui se soutiennent d'eux-mêmes.* . . 49

SECTION XIV. *Réparations des galeries en bois* 53

pag.
SECTION XV. *Charge et bourrage* 56
SECTION XVI. *Manière de mettre le feu aux poudres* 61
SECTION XVII. *Des compassemens des feux* 69

SECONDE PARTIE.

Usages et effets des mines.

SECTION PREMIÈRE. *Idée de l'art du mineur* 71
SECTION II. *Usages et position des principales galeries des mines défensives* 74
SECTION III. *Idée et différence des systèmes de* Rugy *et de* Mouzé 82
SECTION IV. *Effets des fourneaux et figure de l'entonnoir* 94
SECTION V. *Règle générale à observer dans la distribution des fourneaux entre eux et par rapport aux galeries voisines à conserver* 96
SECTION VI. *Distribution des étages de fourneaux* . . 98
SECTION VII. *Des fourneaux accolés et des fourneaux isolés* 100
SECTION VIII. *Application des principes précédens au tracé des rameaux et fourneaux* 101
SECTION IX. *Calcul des charges des fourneaux ordinaires* 115
SECTION X. *Considérations sur la charge des fourneaux accolés* 123

pag.
SECTION XI. *Des charges des globes de compression.* 128
SECTION XII. *Manière de calculer la capacité à donner aux coffres des poudres* 136
SECTION XIII. *Tracé des mines sur le terrain, et détermination de la pente des galeries.* 138
SECTION XIV. *Lever des mines à la boussole* 143
SECTION XV. *Nivellement des galeries de mines; description d'un nouvel instrument propre à niveler dans l'obscurité, et observations sur l'usage qu'on pourroit faire de cet instrument pour lever les galeries* . . . 146

TROISIÈME PARTIE.

Le mineur à la guerre.

SECTION PREMIÈRE. *Exposition et division du sujet.* . . 151
SECTION II. *De l'attaque et de la défense des places minées, et subsidiairement de la construction et des propriétés d'un système de mines défensives à un seul étage de fourneaux.* 152
Tracé, construction, propriétés générales 155
Attaque et défense 164
Remarque sur l'attaque et la défense des places minées en général, et sur l'attaque et la défense qu'on vient de décrire, en particulier. . . . 178
Fixation de la durée de la défense décrite n.° 237. 191
Indication des moyens d'appliquer notre système à diverses localités 195

pag.

Estimation de la dépense à faire pour construire sous œuvre, sur tout un front, soit en maçonnerie, soit en bois, toutes les galeries et rameaux de notre système, à l'exception des galeries d'escarpe et de contrescarpe, et des dépendances de la première de ces galeries 198

SECTION III. *Application de l'art du mineur à la défense des ouvrages de campagne* 208

SECTION IV. *De l'approvisionnement en outils pour une compagnie de mineurs en campagne.* 219

SECTION V. *Des démolitions* 233

NOTES 259

TRAITÉ
PRATIQUE ET THÉORIQUE
DES MINES.

PREMIÈRE PARTIE.

MAIN D'ŒUVRE.

SECTION PREMIÈRE.

Définitions et notions préliminaires.

1. L'ART de disposer et d'allumer des volcans sous les pas de ses ennemis est l'art du mineur. Ces volcans sont appelés *mines*, et la poudre est l'agent qui les produit.

2. Le mot mine a encore une acception plus étendue : il signifie tout l'ensemble des ouvrages souterrains; dont les volcans ne sont que des parties. Cet ensemble est composé de *fourneaux*, qui sont les foyers des volcans, et de *galeries*, qui sont, en général, les routes qui conduisent à ces foyers.

3. Les assiégeans ayant été les premiers à faire usage des mines dans l'attaque des places, les assiégés, lorsqu'ils en construisirent pour la défense, nommèrent les leurs *contre-mines;* et ce nom leur est resté jusqu'à ce qu'en dernier lieu on ait proposé d'appeler les mines des assiégeans *mines offensives*, et *mines défensives* celles des assiégés. Le rôle que jouent maintenant les mines dans l'attaque et la défense des places, doit faire préférer ces dernières dénominations. [1]

4. Dans les mines d'attaque, comme dans celles de la défense, les galeries prennent différens noms, tirés de leurs dimensions. On appelle *grandes galeries* celles de 1,9 mètres (1^{toise}) de haut sur un mètre (3^{pieds}) de large; *demi-galeries*, celles de même largeur, mais de 1,4 mètres ($4^{pieds}\ 6^{pouces}$) seulement de hauteur; *grands rameaux*, celles d'un mètre (3^{pieds}) de haut sur 0,8 mètres ($2\frac{1}{2}^{pieds}$) de large, et enfin *rameaux*, celles qui n'ont que 0,8 mètres ($2\frac{1}{2}^{pieds}$) de hauteur et 0,65 mètres (2^{pieds}) de largeur. [2]

5. Dans la défense les galeries prennent encore d'autres noms, tirés de leur emplacement. On les désigne par les noms de *majeures* ou *d'escarpe* quand elles sont placées dans l'intérieur des ouvrages; de *magistrales* ou *de contrescarpe*, lorsqu'elles règnent sous le chemin couvert; *d'enveloppe*, quand elles sont situées sous les glacis, parallèlement ou à peu près parallèlement aux palissades; *d'écoute*, lorsque, partant d'une galerie majeure, magistrale ou d'enveloppe, elles s'en éloignent dans une direction perpendiculaire ou inclinée; enfin, *de communication*, quand elles ont une issue au dehors.

Les dénominations de galeries d'escarpe et de contrescarpe étant plus significatives que celles de galeries majeures et

magistrales, on feroit bien désormais de supprimer les dernières.

6. Les fourneaux se construisent aux extrémités ou sur les flancs, près des extrémités des galeries ; et les galeries, auxquelles s'appuient immédiatement les fourneaux, ne reçoivent que les plus petites dimensions possibles.

7. La distance du centre d'un fourneau au vide le plus voisin est ce qu'on appelle la *ligne de moindre résistance* de ce fourneau.[3] C'est autour de cette ligne que se forme l'excavation produite par la poudre : cette excavation prend le nom d'*entonnoir*.

8. La ligne de moindre résistance peut être verticale, horizontale ou inclinée : elle doit être unique, pour que l'entonnoir se fasse autour d'elle, c'est-à-dire que tout autre vide dans le voisinage du fourneau doit être plus éloigné du foyer que celui vers lequel on veut que se dirige l'action des poudres.

On verra dans la seconde partie jusqu'à quelle distance on peut souffrir d'autres vides aux environs d'un fourneau par rapport à sa ligne de moindre résistance.

9. On donne une figure cubique aux fourneaux (qu'on nomme encore *chambres des poudres*), afin que les points de la limite de la figure soient tous à peu près dans un égal éloignement de son centre, et que l'inflammation de la poudre, dont le volume a réglé les dimensions du fourneau, soit le plus instantanée possible. La figure sphérique, comme on voit, conviendroit encore mieux ; mais la difficulté de l'exécution fait qu'on se contente de la cubique.

SECTION II.

Introduction à la main d'œuvre.

10. Le terrain dans lequel on a à construire des galeries de mines peut avoir une forte consistance, n'en avoir qu'une médiocre, ou en manquer entièrement. Dans le premier cas il ne faut ni maçonnerie ni bois pour le soutenir ; dans les deux autres il faut l'étayer par des bois ou de la maçonnerie.

11. Quand on rencontre des terrains qui n'ont pas besoin d'être soutenus, on y pratique les galeries *souterrainement ;* lorsque ce sont des terrains qui exigent des étais, les galeries s'y construisent ou souterrainement ou *à ciel ouvert.*

12. Soit que l'on construise souterrainement ou à ciel ouvert, en maçonnerie ou en bois, le plan du système projeté doit être tracé sur le terrain avant de lui donner un commencement d'exécution.

13. Tracer sur le terrain, c'est, en général, planter des piquets sur la surface, à tous les points d'intersection des galeries du projet, et marquer par leurs têtes des lignes qui soient bien dans le plan vertical passant par le milieu de la largeur des galeries : ces lignes se font à la scie et s'appellent *coches.*

14. Les outils dont se sert le mineur se composent de ceux de carrières, de terrassemens, de maçonnerie, de charpente, et de quelques autres qui lui sont particuliers. On ne donne ici la figure ni des uns ni des autres, parce que c'est à l'usage seul à les faire connoître.

SECTION III.

Construction souterraine d'une galerie en bois.

15. Les galeries qui peuvent se construire long-temps à l'avance se revêtent ordinairement en maçonnerie; mais il n'en est pas de même des galeries qui avoisinent de très-près les fourneaux, et qui font plus particulièrement partie du système de défense souterraine qu'on adopte au moment du besoin : celles-ci se construisent à la hâte et en bois, pour ne subsister que pendant la durée de la guerre ou du danger. PLANCHE I.re

16. Pour soutenir les terres du haut et des côtés de ces dernières galeries, on emploie des assemblages de quatre pièces de bois, dont l'une, *A*, s'appelle *chapeau*; celle *B*, *semelle*, et les deux autres, *C*, *montans*. Ces assemblages se nomment *châssis*, et sont de bois de chêne autant qu'il est possible. *Fig.* 1.re

Leurs entailles d'assemblage sont toujours de 0,03 mètres (1^{pouce}).

17. Les dimensions des bois dont on compose les châssis augmentent ou diminuent avec les dimensions des galeries, et le plus ou moins de tendance que peut avoir le terrain à charger les chapeaux et à pousser les montans.

18. Pour parvenir à déterminer avec exactitude l'équarrissage des bois qu'on emploie à la fouille des galeries, on a eu à considérer comment les terres pressoient sur eux, la pesanteur de ces terres, et, pour servir d'objet de com-

paraison, la force d'une pièce de bois de chêne de dimensions données.

Ces trois rapports bien connus, on a fixé l'équarrissage des bois de châssis pour toutes les espèces de galeries, conformément au tableau suivant.

DÉSIGNATION des pièces de châssis.	Pour les grandes galeries.		Pour les demi-galeries.		Pour les grands rameaux.		Pour les rameaux.		Pour les galeries. (Voyez le n.° 75.)	
	centimèt.	pouces	centimèt.	pouces	centimèt.	pouces	centimèt.	pouces	centimèt.	pouces
Chapeaux . . .	13 et 16	5 et 6	11 et 13	4 et 5	11 et 11	4 et 4	8 et 11	3 et 4	16 et 19	6 et 7
Montans. . . .	13 et 13	5 et 5	11 et 11	4 et 4	8 et 11	3 et 4	8 et 8	3 et 3	16 et 16	6 et 6
Semelles. . . .	8 et 13	3 et 5	8 et 11	3 et 4	8 et 11	3 et 4	8 et 8	3 et 3	11 et 16	4 et 6

19. Les équarrissages ci-dessus sont fixés pour les terrains qui tiennent le milieu entre ceux qui ont une forte consistance et ceux qui n'en ont pas du tout; conséquemment, on les diminue ou on les augmente suivant que les terrains sont tout-à-fait bons ou tout-à-fait mauvais. On les augmente surtout lorsqu'il s'agit de terrains qui, comme le sable coulant, le gravier sec, et la terre commune nouvellement rapportée, se laissent aisément pénétrer par les eaux de pluie ou de filtration, et qui par là sont entièrement dépourvus de ténacité.

20. Placés dans une galerie, les châssis ne sont distans les uns des autres, le plus communément, que d'un mètre (3^{pieds}) de centre en centre ou une semelle comprise.

21. L'intervalle entre deux châssis se lambrisse; le plafond, ou *ciel*, avec des madriers de 0,03 à 0,04 mètres (15 à 18^{lignes}) d'épaisseur, et les côtés, ou *coffrages*, avec des planches de 0,025 à 0,030 mètres ($\frac{3}{4}$ à 1^{pouce}).

La bonne largeur des planches et des madriers est de 0,20 à 0,25 mètres (7 à 9 pouces). PLANCHE I.re

22. Il se présente deux cas lorsqu'on entre en galerie : le premier a lieu quand on a un masque de terre devant soi, et le second quand on n'en a pas.

Nous allons conduire le mineur dans l'hypothèse du premier cas, avant de parler du second, qui demande des éclaircissemens préalables.

23. Soit donc la contrescarpe, qu'on suppose sans revêtement, dans le talus de laquelle il faille entrer en galerie à partir d'un point quelconque de sa hauteur; la direction de la galerie étant déterminée par les piquets *a* et *b* dans le fossé, et la tête du piquet *a* marquant de plus la hauteur du sol de la galerie à son entrée, on a tout ce qu'il faut pour commencer la fouille. *Fig. 2 et 3.*

Nous supposerons ici et dans les exemples suivans, qu'il s'agit d'une grande galerie, c'est-à-dire, d'une galerie de 1,9 mètres (6 pieds) de haut sur 1 mètre (3 pieds) de large.

Après avoir coupé dans le talus des terres un espace suffisant, le mineur choisit l'emplacement de sa première semelle, qu'il détermine sous l'aplomb des terres du talus qui doivent commencer à reposer sur le ciel de la galerie. Il l'enterre de niveau avec le piquet *a* et avec elle-même; et pour qu'elle soit bien carrément sur la direction de la galerie, il en aligne le milieu (marqué d'une coche) avec les coches des piquets *a* et *b*, au moyen d'un cordeau bien tendu. Il vérifie ensuite avec une équerre si le cordeau forme un angle droit avec chaque moitié de la semelle, et il constate le tout en mesurant avec son cordeau les deux obliques *ac*, dont l'égalité prouve la perpendicularité de la semelle

PLANCHE I.re sur la direction de la galerie. Assuré de l'exactitude de son opération, il maintient la semelle dans la position qu'il lui a donnée, en pressant avec précaution des terres autour d'elle, et il place les montans. Ceux-ci posés bien d'aplomb, il place le chapeau par-dessus, de manière que la coche faite sur son milieu réponde bien verticalement sur celle du milieu de la semelle.

Si le terrain n'est pas menaçant, le mineur se contente alors de contenir le châssis dans cet état au moyen de coins mariés, qu'il presse entre le dehors de chaque montant et les côtés de la galerie ; après quoi il fouille devant lui pour enlever les terres jusqu'à l'emplacement du second châssis, qu'il pose comme le premier, en se servant, pour s'assurer d'une bonne direction, des piquets *a* et *b* et de la coche de la première semelle.

La position des semelles déjà posées se trouve ainsi vérifiée chaque fois qu'on en pose une nouvelle.

Le second châssis étant en place, le mineur pose enfin les madriers du ciel et les planches du coffrage. Il commence par les premiers, qui doivent porter à la fois sur deux chapeaux ; et il observe d'entreposer des coins un peu plus épais que les madriers entre chaque madrier et le
Fig. 3. second chapeau, afin de réserver un passage aux madriers qui iront de ce second chapeau au troisième. Les planches de coffrage s'appuient aussi derrière deux montans ; et le mineur entrepose également des coins, plus épais que les planches,
Fig. 2. entre les montans du second châssis et ces mêmes planches, pour réserver un passage aux planches du coffrage suivant.

Telle est la manière d'entrer et de cheminer en galerie dans un terrain qui ne manque pas d'une certaine consistance.

24. Afin d'éviter que des chocs quelconques ne dérangent les châssis, on lie les montans de chaque côté de la galerie par des tringles de sapin, clouées à 0,08 ou 0,10 mètres (3 à 4 pouces) du dessous des chapeaux. Ces tringles ont environ 0,08 mètres (3 pouces) de largeur, et les clous 0,06 mètres (2 pouces) de longueur. PLANCHE I.re Fig. 3.

25. Le premier châssis d'une galerie qui a son entrée dans le talus de la contrescarpe non revêtue, doit être construit de manière qu'il puisse soutenir les terres du talus qui restent en dehors de l'entrée de la galerie : pour cela on lui ajoute deux semelles *ef*, sur chacune desquelles s'appuie une jambe de force *g*, qui va s'assembler au montant du châssis près du chapeau. Fig. 2. Fig. 3.

26. Une galerie peut aller de niveau, monter ou descendre. L'un n'est pas plus difficile que l'autre pour le mineur : il lui suffit de savoir qu'il doit aller de niveau ou en pente ; et, dans ce dernier cas, de combien il doit monter ou descendre par mètre (3 pieds) ou par distance de châssis. Quand il en est instruit, il fait faire un *dé* en bois, de dimensions égales à la pente de la galerie par mètre ; et soit qu'il plante des piquets de mètre en mètre sur le sol de la galerie, soit que les semelles, distantes entre elles de cette quantité, lui servent de piquets, il place son dé sur le piquet, ou sur la semelle, tourné vers la descente, met une règle bien dressée sur le dé et l'autre semelle ou piquet, place un niveau de maçon sur la règle, et retouche au piquet ou à la semelle qu'il est occupé de poser, tant que l'un ou l'autre n'est pas de niveau avec le dessus du dé quand la galerie va en montant, ou que le dessus du dé n'est pas de niveau avec la semelle ou le piquet qui précède, quand la galerie va en

descendant. C'est à l'aide de ce moyen extrêmement simple que le mineur rend la pente uniforme sur toute la longueur d'une galerie.

La manière de déterminer les pentes, en général, se trouvera à la seconde partie, ainsi que celle de tracer les mines sur le terrain.

SECTION IV.

Construction d'un puits et d'une galerie.

27. Lorsqu'on n'a pas de masque de terre devant soi pour entrer en galerie, on creuse un *puits* carré, que l'on descend jusque sur le sol de la galerie à construire, et par ce moyen on a un masque tout autour de soi.

28. Indépendamment de cette propriété qu'ont les puits, ils sont encore absolument nécessaires pour rapporter exactement sous le terrain le tracé des galeries d'abord fait sur la surface; et, sous ce rapport, leur emplacement le plus naturel est aux points de concours de plusieurs galeries qui se coupent ou se rencontrent.

29. On ouvre encore des puits sur la longueur d'une galerie lorsqu'elle est d'une certaine longueur. Ceux-ci procurent l'avantage de pouvoir employer un plus grand nombre de bras à la construction d'une même galerie; ils facilitent et abrègent l'extraction des terres de la fouille; ils établissent des courans d'air, et fournissent des points de repères propres à empêcher les déviations.

30. Quand on juge à propos d'ouvrir des puits sur la longueur d'une galerie, on en marque les emplacemens par des piquets, dont les coches sont alignées avec les coches correspondantes des piquets des extrémités. PLANCHE I.re

31. La bonne distance d'un puits à un autre, pour ne pas s'exposer à des déviations considérables, est de vingt-quatre à trente mètres (12 à 15toises); elle est encore tolérable quand elle n'excède pas trente-six à quarante mètres (18 à 20toises).

32. On se sert pour leur construction d'une sorte de châssis carrés, appelés *cadres*, dont on distingue deux espèces. Dans celui qu'on nomme *cadre à oreilles* les extrémités des pièces de bois dont il est composé saillent de 0,5 à 0,6 mètres (18 à 20pouces) en dehors des entailles d'assemblage : il se place sur la surface du terrain. Celui qu'on nomme *cadre uni* se pose dans l'intérieur des puits. *Fig.* 4. *Fig.* 5.

33. Ces deux sortes de cadres sont composées de deux semelles et de deux chapeaux. Les chapeaux, entaillés à mi-bois, portent sur les semelles, entaillées de même.

34. Ce n'est peut-être qu'un peu tard qu'on s'est aperçu que les pièces du cadre à oreilles, étant entaillées à mi-bois, il en résultoit pour ce cadre un affoiblissement qui l'exposoit à se rompre pour peu qu'il fût poussé par les terres, ou tourmenté par les secousses du treuil qu'on établit dessus (voyez le n.° 38 et la fig. 10). Pour remédier à cet inconvénient, on a imaginé de faire le cadre à oreilles tel que le représente la fig. 6. Les semelles seules ont des oreilles, et leurs entailles faites à tiers bois n'occupent que les deux tiers de leur largeur. En outre, pour que le cadre ait encore plus de solidité, on a l'attention, surtout dans les *Fig.* 4. *Fig.* 6.

PLANCHE I.re terrains mouvans, de clouer sur les oreilles des semelles des taquets en forme de coins, et contre le débordement
Fig. 7. des chapeaux. Le profil de la figure 7 fait voir au reste comment les chevalets du treuil servent eux-mêmes de contre-taquets pour contenir les chapeaux vers l'intérieur du cadre.

35. Les dimensions dans œuvre des cadres se règlent sur la largeur hors d'œuvre des galeries sur lesquelles on descend des puits, c'est-à-dire que le dans-œuvre des cadres et le hors-d'œuvre des galeries doivent avoir la même grandeur.

36. L'équarrissage des bois de cadres dépend, comme celui des bois de châssis, de la nature du terrain et de la grandeur de l'ouverture des puits qu'ils doivent boiser. En voici la fixation pour un terrain qui tient le milieu entre les bons et les mauvais.

DÉSIGNATIONS des DIFFÉRENS CADRES.	Pour les puits de 1,32 mèt. (4 pieds).		Pour les puits de 1 mètre (3 pieds) et au-dessus.		Pour les puits de 2 mètres (6 pieds) qui s'ouvrent sur les galeries (n.° 75) et aux points de concours de plusieurs galeries.	
	En centimèt.	En pouces.	En centimèt.	En pouces.	En centimèt.	En pouces.
Cadres à oreilles.....	13 et 16	5 et 6	11 et 13	4 et 5	16 et 19	6 et 7
Cadres unis.....	11 et 13	4 et 5	8 et 11	3 et 4	13 et 16	5 et 6

37. Le mineur commence un puits en posant le cadre à oreilles de niveau sur lui-même, et, au moyen de cordeaux bien tendus, il le dispose de manière que les coches faites sur le milieu de ses côtés s'alignent exactement avec celles des piquets qui leur correspondent. Il est de la dernière importance que cet alignement soit bien pris. Le mineur

contient ensuite le cadre dans sa position par de forts piquets, qu'il chasse aux extrémités des oreilles; après quoi il commence la fouille. PLANCHE I.re

Lorsque le terrain a de la consistance, ce que nous supposons ici, la distance d'un cadre à l'autre peut être de 1,32 mètres (4^{pieds}), et le mineur s'enfonce de cette quantité sans autre précaution que d'éviter les déblais superflus de terres. Pour cet effet, il fait fréquemment circuler un aplomb le long du hors-d'œuvre du cadre à oreille; et la distance qui existe entre la ficelle de l'aplomb et les terres lui fait juger si la fouille se fait bien.

Pour poser le premier cadre uni, le mineur prend quatre tringles égales, auxquelles il a donné pour longueur la distance qu'il veut faire exister entre deux cadres, plus l'épaisseur réunie des deux cadres qu'elles doivent lier, et il cloue deux de ces tringles à chaque semelle du cadre uni, comme on le voit fig. 8. On conçoit qu'en présentant ensuite les semelles à leurs places dans le puits (les semelles d'un cadre inférieur doivent toujours se lier aux chapeaux du cadre précédent), et en clouant les tringles aux points des chapeaux où elles viennent naturellement s'appliquer, le cadre uni (les chapeaux étant en place) sera dès-lors dans un plan parallèle à celui du cadre supérieur; et que les coches correspondantes des deux cadres seront aisément mises dans les mêmes plans verticaux, si on observe, pendant la pose du coffrage, les attentions prescrites ci-après. Fig. 8.

Le coffrage de l'intervalle de deux cadres s'exécute en glissant verticalement les planches entre les terres et le dehors des cadres, jusqu'à ce que leurs extrémités arrasent le dessus du premier cadre et le dessous du second. On

PLANCHE I.re observe aussi d'entreposer des coins, plus épais que les planches, entre l'extrémité inférieure de chaque planche et les pièces du second cadre, afin de ménager un passage aux planches du coffrage suivant. Voyez à ce sujet la figure, qui représente la coupe d'un premier intervalle de cadres.

Fig. 9.

On coffre d'abord les angles des puits; et c'est pendant ce premier travail que le mineur fait prendre et conserver à son cadre uni la position qu'il doit avoir, en l'obligeant d'aller à droite ou à gauche jusqu'à ce que son aplomb lui prouve que les coches correspondantes des deux cadres sont dans la même verticale. Cela fait, il coffre le reste des côtés du puits.

Telle est la manière de conduire la fouille d'un puits : mais poursuivons.

38. Lorsque le puits est parvenu à une profondeur qui ne permet plus d'en sortir les terres à la pelle, on établit un treuil sur le cadre à oreilles, à l'aide duquel on enlève les terres dans des caisses.

Fig. 10.

39. Le dernier cadre des puits, dans les bons terrains, se pose de manière qu'il reste au-dessous à creuser toute la hauteur hors d'œuvre de la galerie à construire, plus 0,05 mètres (2^{pouces}) pour l'aisance. Quand le mineur connoît la profondeur totale que doivent avoir le puits et la hauteur de la galerie, il fait ce petit calcul : 1,9 mètres (6^{pieds}) de galerie, 0,16 mètres (6^{pouces}) de chapeau, et 0,09 mètres (3^{pouces}) tant pour le ciel que pour l'aisance, font 2,15 mètres (6^{pieds} 9^{pouces}) à retrancher de la profondeur du puits. Supposons-la de 6,50 mètres (20^{pieds}) : reste par conséquent 4,35 mètres (13^{pieds} 3^{pouces}), dont il faut encore ôter l'épaisseur du cadre à oreilles, communément plus forte

que celle des cadres unis. C'est encore 0,13 mètres (5^{pouces}) : il ne reste donc plus que 4,22 mètres (12^{pieds} 10^{pouces}), qui, étant partagés en trois parties égales, donnent 1,406 mètres (4^{pieds} 3^{pouces} 4^{lignes}) pour chaque cadre et son intervalle. Cet écartement, qui est admissible dans un bon terrain, ne le seroit pas dans un mauvais (voyez ci-après n.° 47); il faudroit, dans ce cas, partager les 4,22 mètres (12^{pieds} 10^{pouces}) en quatre ou même cinq parties. PLANCHE I.re

40. Revenons à notre puits. Lorsqu'il est à sa profondeur, le mineur la fixe particulièrement par un piquet planté au centre de son fond. Voici comment il trouve ce centre : du point d'intersection des deux cordeaux tendus diagonalement sur le cadre à oreilles ou un des cadres unis, il descend un plomb traversé d'une pointe de fer, qui lui désigne l'emplacement du piquet en question.

41. Ce premier piquet sert à régler le niveau ou la pente de la galerie. Il en faut maintenant deux autres pour en régler la *direction* : ceux-ci se fichent également au fond du puits, l'un tout près du côté où la galerie doit s'ouvrir, l'autre tout près du côté opposé; et le plomb, traversé d'une pointe de fer, sert à trouver sur leurs têtes les points qui sont dans le prolongement des lignes verticales passant par les coches des côtés des cadres. Ces points se marquent sur la tête des piquets avec des clous à petites têtes, ou, mieux encore, sans têtes.

42. La manière d'entrer en galerie au fond d'un puits dans un bon terrain ne différant en rien de celle décrite au n.° 23, voyez ce numéro et la figure 11, qui représente la coupe des derniers cadres d'un puits et des premiers châssis d'une galerie. *Fig.* 11.

43. Un puits ouvert sur la longueur d'une galerie n'interrompt pas sa pente, lorsqu'elle en a.

44. Quand un puits est ouvert au point de concours de diverses galeries, l'aire de ce puits doit être horizontale, et cette aire s'appelle *case*.

45. Enfin, quand une galerie débouche dans une autre sans la couper, l'espace vis-à-vis le débouché s'appelle *pailler*, et l'aire de ce pailler doit encore être horizontale.

SECTION V.

Considérations sur les constructions souterraines en bois dans les mauvais terrains.

46. Nous avons jusqu'ici supposé un terrain favorable; il convient maintenant d'en supposer un mauvais, afin de faire connoître les moyens qu'on emploie pour prévenir et empêcher les éboulis.

47. Lorsqu'il s'agit d'un puits et que le cadre à oreilles est en place, on doit d'abord renoncer à éloigner les cadres de plus d'un mètre (3^{pieds}) les uns des autres. Il est même indispensable de poser un *faux cadre* au milieu de la distance qui en sépare deux vrais, afin que les terres soient plus promptement soutenues par le coffrage, que l'on fait descendre à mesure de l'avancement de la fouille. Dès qu'on a posé un vrai cadre, on retire le faux, et on continue de l'employer tant que la mauvaise qualité du terrain l'exige.

Un faux cadre est entièrement semblable à un vrai.

48. On est obligé dans les mauvais terrains de boiser le puits jusque sur le sol de la galerie; mais on observe toujours qu'un des cadres laisse au-dessous de lui la hauteur hors d'œuvre de la galerie, et 0,05 mètres (2^{pouces}) pour l'aisance (n.° 39).

49. Le puits ainsi boisé, il est question d'entrer en galerie. On creuse l'emplacement de la première semelle en dedans du dernier cadre, et on la pose d'ailleurs de niveau sur elle-même, en observant le niveau ou la pente de la galerie. A l'égard de l'alignement, on le lui donne en se servant des coches des pièces correspondantes du dernier cadre, lesquelles tiennent ici lieu des piquets dont il est parlé n.° 41. On pose ensuite les montans et le chapeau, et on contient le châssis avec des coins chassés entre le dehors des montans et les pièces latérales des cadres situés sur la hauteur de la galerie. Ces pièces latérales ainsi arc-boutées permettroient dès-lors d'enlever les pièces de face; *mais il* n'en est pas temps encore. On se borne pour le moment à faire descendre de 0,3 mètres (1^{pied}) environ les planches de coffrage qui masquent la galerie à hauteur du chapeau; et, avec un certain outil appelé *langue-de-bœuf*, on fait dans les terres découvertes une rainure dans laquelle on engage le bout des madriers du ciel de la galerie. On engage d'une manière analogue les planches de la partie supérieure du coffrage derrière les montans, et de progrès en progrès on parvient à engager dans les terres les madriers et les planches de la moitié de leur longueur, c'est-à-dire de 0,5 à 0,6 mètres (18 à 20^{pouces}). On enlève alors les pièces de cadres qui barrent la galerie; on déblaie avec précaution les terres découvertes; on fait avancer les planches de la

PLANCHE I.re partie inférieure du coffrage, comme on a fait celles de la partie supérieure, et on pose un *faux châssis*. Ce faux châssis, qui sera décrit ci-après, doit être placé vers le milieu de la distance qui en sépare deux vrais. Dès qu'il est en place, on travaille de nouveau à pousser en avant le ciel et le coffrage supérieur, ensuite le coffrage inférieur, et enfin on arrive à l'emplacement du second châssis, qu'on pose à l'ordinaire.

50. Cette manœuvre, qui consume beaucoup de temps et désespère le mineur, est quelquefois insuffisante pour maîtriser des terrains qui, comme le sable coulant et le gravier sec, manquent absolument de consistance. On est quelquefois obligé de faire un masque de coffrage devant le terrain chaque fois qu'on est parvenu à poser un châssis, et de prendre encore d'autres précautions pour empêcher les éboulis et éviter d'en être écrasé. Mais heureusement que la rencontre de ces terrains est rare, et qu'il est d'ailleurs des moyens d'éluder leur indocilité. (Voyez la Section VII.)

51. Le faux châssis, dont on a promis la description, *Fig.* 12. est composé de deux montans *A* et d'un chapeau *B*, qui s'assemblent à tenons et mortaises. On ne lui donne point de semelle, afin de pouvoir le placer plus vîte quand il est nécessaire, et l'enlever plus aisément quand il devient inutile. Pour lui en tenir lieu on met des plateaux ou des doubles coins sous le pied de ses montans, qu'on maintient dans un parallélisme mutuel au moyen d'un étrésillon *C*, porté sur un pointal *D*, au moyen duquel on les arc-boute.

Les bois qui composent le faux châssis ont des dimensions moindres que ceux du châssis ordinaire, parce qu'il en est plus aisé à manier et qu'il ne reste que peu de temps en place.

52. Si jusqu'ici nous avons considéré le mineur travaillant dans de grandes galeries, c'est que les procédés de la main d'œuvre sont les mêmes dans toutes : on remarquera seulement que la difficulté de l'exécution, dans les terrains intraitables, augmente à mesure que les dimensions des galeries s'éloignent en plus ou en moins des dimensions moyennes. En effet, dans une vaste galerie le volume des terres plus grand en est plus difficile à contenir ; et, dans une très-petite, le mineur, travaillant courbé, agenouillé, assis, est gêné dans ses mouvemens et ne peut être aidé de personne.

SECTION VI.

Détail de l'exécution des retours *des galeries, des rameaux dits* à la hollandoise, *et des fourneaux.*

53. Pour ne rien omettre de ce qui concerne l'exécution souterraine en bois des divers ouvrages de mines, nous allons expliquer la manière de faire les *retours* des galeries, et donner les détails de la construction des rameaux dits *à la hollandoise*, et des fourneaux. PLANCHE II.

54. Faire un retour à angle droit.

Soit la grande galerie *A B*, au point *C* de laquelle il faille percer une autre grande galerie *C D*, perpendiculairement sur *A B*. La seule chose qui exige de l'attention est le placement des deux semelles *a a* et *b b*, qui doivent, chacune de son côté, être distantes du point *C* de la moitié Fig. 13.

PLANCHE II. de la largeur hors d'œuvre de la galerie *C D;* ce qui dans le cas actuel équivaut à 0,66 mètres (24 pouces), savoir: 0,50 mètres (18 pouces) pour la demi-largeur dans œuvre de la galerie, 0,13 mètres (5 pouces) pour l'épaisseur d'un montant, et 0,03 mètres (1 pouce) pour l'épaisseur d'une planche de coffrage. La distance entre le point *C* et chacune des deux semelles *a a* et *b b* étant ainsi déterminée, on posera ces deux semelles en conséquence, et on entamera ensuite la galerie *C D,* en posant la première semelle *c c* de façon que son côté *q q* soit la limite du hors-d'œuvre de la galerie *A B* de ce côté. Quant à l'alignement de sa coche avec la direction *C D,* l'égalité des obliques *C q* en établira la justesse.

55. Faire un retour qui ne soit pas à angle droit.

Fig. 13. Soit la grande galerie *E F,* au point *G* de laquelle il s'agisse d'ouvrir une autre grande galerie *G H,* suivant une direction inclinée sur *E F.* D'abord le point *G* ne peut servir à régler la distance à établir de ce point aux semelles *e e* et *f f,* puisque, comme on le voit sur la figure, il ne peut être également distant de ces deux semelles, et qu'on ne peut encore savoir de combien il sera plus rapproché de l'une que de l'autre : il faut donc premièrement chercher le point qui partage également l'intervalle qui doit séparer les deux semelles *e e* et *f f.* Pour cela, on élève du point *G,* quand la fouille de la galerie *E F* est arrivée un peu au-delà de ce point, la perpendiculaire *G Y,* que l'on fait égale à la moitié de la largeur hors d'œuvre de cette galerie, c'est-à-dire de 0,66 mètres (24 pouces). On a ensuite une fausse équerre, ouverte suivant l'angle *o G p,* avec laquelle on détermine la direction *G H;* on mesure *Y X,* parallèle à *E F,* et on rapporte cette mesure de *G* en *Z.* Le point *Z* est le point cherché.

En second lieu, la première semelle *g g* de la galerie *G H* étant placée obliquement sur la direction de cette galerie, cette semelle doit évidemment être plus longue que la seconde *i i*, placée perpendiculairement sur cette direction. En effet, la longueur dans œuvre de la semelle *g g* est l'hypoténuse d'un triangle rectangle *k h l*, qui a *k l* = *i i* = un mètre (3^pieds) pour un de ses côtés de l'angle droit. Il faut donc, secondement, déterminer la longueur inconnue de la semelle *g g*: mais comme il ne s'agit ici que d'exécution, et que celui qui aura fait le tracé du projet aura coté la longueur des lignes *G F*, *F I* et *I G*, ces seules données suffiront pour trouver graphiquement la longueur cherchée de la semelle en question. PLANCHE II.

On construira donc sur un plancher bien uni, et de grandeur naturelle, s'il est possible, un triangle rectangle *G F I*, aux côtés duquel on donnera les longueurs cotées au plan-projet; on mènera ensuite la ligne *K L* parallèlement à 0,66 mètres (24^pouces) de *G F*, et *M N* perpendiculairement sur *G I*, de manière que *O M* et *O N* soient aussi de 0,66 mètres (24^pouces) chacune (c'est la demi-largeur hors dœuvre des galeries qui nous occupent): on mènera enfin les lignes *M P* et *N Q* parallèlement à *G I*, et on aura *P Q* pour la largeur hors d'œuvre de la galerie *G H*, à son entrée *X*. Fig. 14. Fig. 13.

Les semelles *e e* et *f f* seront donc placées, chacune de son côté, de manière qu'entre chacune d'elles et le point *Z* il y ait un intervalle égal à la moitié de *P Q*. A l'égard de la construction et de la pose de la semelle *g g*, la fausse équerre, ouverte suivant l'angle *o G p*, servira à tracer la coche et les lignes d'entailles de cette semelle, ainsi qu'à la poser comme elle doit l'être. Fig. 14. Fig. 13.

PLANCHE II. Le second châssis d'un retour oblique se pose toujours carrément sur la direction de ce retour.

56. On prolonge ordinairement de 0,5 à 0,6 mètres (18 à 20^{pouces}) les galeries aux extrémités desquelles débouchent une ou plusieurs autres galeries, afin d'y avoir un enfoncement tel que *F* ou *H*. Cet enfoncement s'appelle *retraite*, parce que le mineur qui se repose s'y retire pour ne point obstruer le passage et gêner ceux qui travaillent.

Fig. 13.

57. Construire un rameau à la hollandoise.

Cette sorte de rameau, qui se construit particulièrement dans les terrains de peu de consistance ou lorsqu'il faut cheminer en pente très-roide, exige des châssis différens des châssis ordinaires: ils sont composés de quatre plateaux, *a*, *b* et *c*, de 0,040 à 0,045 mètres (18 à 20^{lignes}) d'épaisseur, et de 0,25 mètres (9^{pouces}) de largeur. Celui de dessus s'appelle chapeau; celui de dessous, semelle, et ceux des côtés, montans. La figure fait voir comment ils s'assemblent.

Fig. 15.

Ces châssis se placent en contact dans les rameaux, de manière qu'ils suffisent seuls pour retenir les terres. On pose d'abord la semelle, qui a une coche pour l'aligner comme celle des autres châssis; on pose ensuite les montans bien d'aplomb, et le chapeau par-dessus, en observant que la coche faite sur son milieu corresponde parfaitement à celle de la semelle.

On voit que cette méthode est bonne à employer dans les mauvais terrains, puisque chaque châssis n'occupant que 0,25 mètres (9^{pouces}), et pouvant encore en occuper moins, il suffit de fouiller en avant de la longueur qu'occupe un châssis pour pouvoir de suite en poser un.

58. L'orsqu'on va en pente, il faut que les châssis

hollandois soient construits en conséquence de cette pente; PLANCHE II.
c'est-à-dire que, le plan de section qui passe par les points de contact de deux châssis étant toujours vertical, et ce plan ne pouvant faire un angle droit avec le sol du rameau quand ce rameau va en pente, il faut que les châssis soient construits de manière que leurs semelles suivent le plan incliné du rameau. Voyez à ce sujet la figure 16, qui représente la coupe sur $x\,y$ d'un rameau $R\,S$, construit, suivant une *Fig.* 13.
pente quelconque, en châssis hollandois.

L'angle que fait le sol du rameau avec la verticale se détermine de la manière suivante. On construit sur un plancher bien uni, et de grandeur naturelle, un triangle rectangle $a\,b\,c$, *Fig.* 16.
qui ait un de ses côtés $a\,b$ de l'angle droit égal à la longueur horizontale du rameau, dont on doit connoître la pente totale; l'autre côté $b\,c$ égal à cette pente, et l'hypoténuse $c\,a$ égale à la longueur réelle du rameau ou du plan incliné qui passe sur son sol. On mène ensuite $d\,e$ parallèle à $c\,a$, à la distance de la hauteur dans œuvre du rameau, et on a une épure sur laquelle on construit facilement les châssis hollandois suivant la coupe biaise qu'ils doivent avoir.

Si le rameau avoit une longueur telle qu'on ne pût entièrement la comprendre sur une épure, il suffiroit d'en prendre cinq à six châssis, et d'opérer sur la longueur qu'ils occupent, après s'être assuré toutefois de la portion de pente à distribuer sur cette longueur.

59. Construire les fourneaux.

Les fourneaux, comme on l'a dit n.° 6, se construisent aux extrémités, ou sur les flancs près des extrémités des rameaux. Quand ils le sont sur les flancs, comme ceux M et N, *Fig.* 13.
leur pailler O doit être formé par des châssis ordinaires $v\,v$.

PLANCHE II. 60. On construit les fourneaux en châssis ordinaires, comme l'est le fourneau *M;* en châssis hollandois posés verticalement, comme l'est le fourneau *P;* ou enfin en châssis hollandois posés horizontalement, comme l'est le fourneau *N.*

61. Le fourneau *M,* construit en châssis ordinaires, n'est autre chose qu'un retour de rameau; celui *P,* construit en châssis hollandois posés verticalement, est un enfoncement ou un bout de rameau à la hollandoise; enfin, celui *N,* construit en châssis hollandois posés horizontalement les uns sur les autres, est une espèce de boîte, dont la figure 17, qui est une coupe de ce fourneau sur la ligne *OZ,* fera aussi bien connoître la construction que le feroit la description la plus détaillée.

Fig. 13.

62. C'est une règle d'enfoncer les fourneaux au-dessous du sol de leurs paillers, de la moitié de la hauteur du *coffre* de poudre qu'ils doivent contenir; mais cette règle ne peut bien s'observer que quand le terrain est assez traitable pour se passer d'étais, ou pour permettre d'employer les châssis hollandois en position horizontale. Ainsi les fourneaux *P* et *M,* censés construits dans un mauvais terrain, ont leur sol de niveau avec celui de leurs paillers respectifs; et le fourneau *N,* censé construit dans un terrain docile, a son sol enfoncé au-dessous de celui de son pailler, comme on le voit à la coupe (fig. 17).

63. Les dimensions de la base des fourneaux *P* et *M,* construits dans un mauvais terrain, se proportionnent à la grandeur du coffre de poudre qu'ils doivent loger; mais leur hauteur doit être plus grande que celle du coffre, afin qu'on puisse y verser la poudre quand il est en place. A l'égard

du fourneau *N*, qui se construit dans les terrains secs et solides, et qui par cette raison sert de coffre lui-même, les dimensions de la base se calculent aussi sur la quantité de poudre qu'il doit contenir; mais on lui donne également un excédant de hauteur, afin d'avoir une ouverture *A*, par laquelle on introduit la poudre dont il doit être chargé. PLANCHE II. Fig. 17.

SECTION VII.

Constructions en bois à ciel ouvert.

64. CONSTRUIRE à ciel ouvert, c'est enlever la masse de terre comprise entre le sol des galeries à construire et la surface correspondante du terrain.

65. Lorsqu'il s'agit de la construction d'une galerie en bois, c'est toujours la mauvaise qualité du terrain qui détermine son exécution à ciel ouvert; et quand il est question d'une galerie en maçonnerie, à cette raison s'en joignent deux autres, l'économie et la célérité.

66. Il est, à raison de la plus ou moins grande consistance du terrain, deux manières de construire en bois à ciel ouvert. Dans les terrains assez consistans, on n'emploie pas d'étais pour soutenir les joues de la tranchée; dans ceux qui ne le sont pas, on en emploie. Détaillons successivement ces deux manières.

67. La première est fort simple. On donne un talus convenable aux joues de la tranchée, et on y ménage des bermes ou retraites, qui servent à en augmenter la solidité et à relayer les terres à la pelle. Lorsque le sol de la galerie

PLANCHE II. est à découvert, on place tous les châssis, que l'on maintient d'abord par des tringles et par des coins, et ensuite par un premier rang de planches de coffrage, que l'on pose en même temps sur tout le développement des deux côtés de la galerie. Pendant ce travail et celui qu'exige l'achèvement du coffrage, on vérifie souvent avec un aplomb si la coche du milieu de chaque chapeau correspond toujours bien à celle du milieu de chaque semelle : on pose enfin le ciel, sur lequel on remblaie le reste de la tranchée avec les terres qui en sont sorties ; on les dame fortement à mesure, et la galerie est terminée.

68. La seconde manière est plus compliquée : la voici.

On dispose à trois ou quatre mètres (10 à 12 pieds) de distance, sur toute la surface du terrain à enlever, de fortes pièces de sapin *A*, qui traversent la largeur de la tranchée, et dont les bouts se prolongent en dehors à proportion du peu de consistance du terrain. Sur ces pièces transversales il s'en établit d'autres *B*, qui leur sont perpendiculaires, et dont l'écartement dans œuvre est proportionné au hors-d'œuvre de la galerie à construire (n.° 35). Toutes ces pièces s'assemblent par des entailles faites à leurs intersections *C*; d'où l'on voit qu'elles forment ensemble une suite de cadres à oreilles, de figure rectangulaire. Lorsque toutes ces pièces sont ainsi posées et maintenues, on commence la fouille.

Fig. 18.

Comme le terrain est supposé mauvais, le premier rang de cadres unis ne peut être posé à plus d'un mètre (3 pieds) en contre-bas des pièces de sapin ; et les planches de coffrage doivent se glisser à mesure de l'avancement du déblai. Arrivé à l'emplacement du premier rang de cadres unis, on pose ces cadres les uns touchant les autres, comme l'indique la

figure 19, et on les contient dans un même plan par des tringles d'égales longueurs, clouées aux pièces longitudinales de sapin (n.° 37). Quant à la manière de coffrer, elle ne présente rien de particulier, non plus que le placement des autres rangs de cadres, qui s'établissent les uns au-dessous des autres; cadre pour cadre, en observant seulement de placer le dernier rang à 0,33 mètres (1^pied) au-dessus du sol de la galerie. On verra bientôt à quel dessein. PLANCHE II. *Fig.* 19.

S'il y avoit à craindre que les terres coulassent par cet intervalle, il faudroit le masquer entièrement au moyen des planches du dernier coffrage, que l'on tiendroit à cet effet de 0,33 mètres (1^pied) plus longues : dans le cas contraire, on *les feroit déborder* de 0,10 à 0,12 mètres (4 à 5^pouces) seulement, par le dessous du dernier rang de cadres.

Lorsque les terres de la tranchée ne peuvent plus être évacuées à la pelle, on établit des treuils de distance en distance sur les pièces de sapin.

Maintenant que le sol de la galerie est à découvert, il s'agit de construire la galerie même. Rien ne seroit plus simple si on vouloit abandonner les bois de la tranchée; mais ce sacrifice pouvant s'éviter par un peu plus de travail, voici comment on procède pour ne rien perdre.

On pose tous les châssis, que l'on maintient par des tringles et par des coins chassés entre le dehors des montans et les pièces latérales des cadres situés sur la hauteur de la galerie. On fait régner ensuite, sur le développement des deux côtés de la galerie, un premier rang de planches de coffrage, derrière lesquelles se trouvent engagées celles du dernier coffrage de la fouille, qu'on a fait déborder le dessous du dernier rang de cadres, ou qu'on a fait descendre jusque sur le sol :

PLANCHE II. dès-lors on peut enlever ce dernier rang de cadres. Cela fait, on place un nouveau rang de planches de coffrage derrière les châssis, et, à l'aide d'une pince à pointe et d'un point d'appui, on fait remonter proportionnellement les planches du dernier coffrage de la fouille. On pose ainsi successivement tous les rangs de planches de coffrage de la galerie, et on fait à mesure remonter les planches du coffrage de la tranchée. Mais, avant d'enlever le second rang de cadres, il est nécessaire que son coffrage soit engagé derrière celui de la galerie. Pour cela on établit momentanément, en travers de la galerie, des étrésillonnages à hauteur du second coffrage des cadres. On peut par ce moyen enlever le second rang de cadres; et dès que les planches du coffrage de la galerie assujettissent celles du coffrage de la fouille, on enlève les étrésillonnages devenus inutiles : on continue à coffrer la galerie, à décoffrer la tranchée, et enfin on pose le ciel, sur lequel il n'y a plus qu'à remblayer. Toutefois les précautions sont encore nécessaires : on doit éviter d'enlever trop précipitamment les autres bois de la fouille, et n'y procéder qu'à mesure de l'avancement du remblai; car autrement il y auroit à craindre que quelque éboulis considérable, tombant sur le ciel de la galerie, ne produisît une secousse capable de l'écraser. On voit qu'au moyen de cette manœuvre aucun des bois de la fouille n'est perdu.

Fig. 20 *et* 21. 69. Le point d'appui, dont il a été parlé tout à l'heure, est un *pied de chevrette*, d'environ deux mètres (6^{pieds}) de hauteur, percé de 0,15 en 0,15 mètres (6 en 6^{pouces}) pour recevoir un boulon sur lequel on appuie la pince à pointe.

SECTION VIII.

Construction en bois des emplacemens appelés cases.

70. On est dans l'usage de pratiquer aux points de concours de plusieurs galeries, des espèces de chambres, plus ou moins vastes suivant que les galeries qui s'y réunissent sont en plus ou moins grand nombre. On donne, par exemple, deux mètres (6^{pieds}) de côté à l'aire de celles que l'on construit au point de concours de trois ou de quatre galeries, et trois mètres (9^{pieds}) de côté à l'aire de celles dans lesquelles il en débouche un plus grand nombre. Ces chambres ou cases sont utiles sous plusieurs rapports : elles servent de point de réunion aux mineurs dont le service embrasse les environs; de dépôt aux matériaux et aux outils dont l'emploi est prochain; de station aux ouvriers, qui s'y relaient en brouettant au dehors les terres qui proviennent des fouilles que l'on est dans le cas de faire pendant la durée d'un siége, etc.

71. Les principaux puits s'ouvrant toujours sur les emplacemens que doivent occuper les cases, leur construction s'exécute toujours à ciel ouvert : ainsi on est dispensé du soin de retenir les terres du haut.

Nous allons donner la figure et les détails de construction d'une de ces cases, ce qui suffira pour l'intelligence de toutes les autres.

PLANCHE II. *Fig.* 22.

72. Soient les deux galeries *A B* et *C D*, qui se coupent à angle droit; la case à construire à leur point d'intersection *F* devra être carrée : elle seroit triangulaire ou pentagonale si trois ou cinq galeries concouroient à ce point. Voulant donner deux mètres (6^pieds^) de côté à l'aire de cette case *F*, on tend deux cordeaux *A B* et *C D* suivant la direction des galeries; et du point *F*, où ils se coupent, on porte un mètre (3^pieds^) en *F a*, *F b*, *F c* et *F d* : les points *a*, *b*, *c* et *d*, marquent le dans-œuvre de la case. C'est par conséquent en dehors de ces points que se placent, perpendiculairement sur les directions respectives des galeries, les semelles *R* et *S*, qui doivent avoir, celles *R*, deux mètres (6^pieds^) de longueur, et celles *S*, 2,32 mètres (7^pieds^), attendu que ces dernières embrassent la largeur de la case et la largeur des deux semelles *R* : sur chacune de celles-ci reposent deux montans *o*, couronnés d'un chapeau *k*; et sur chaque semelle *S* reposent quatre montans *q*, couronnés d'un chapeau *h h*. Enfin des poutrelles *i* se posent sur les chapeaux *h h*, et des madriers de ciel sur les poutrelles : le tout comme le représente la figure 23, qui fait voir aussi la position des derniers châssis des deux galeries *A* et *B* qui aboutissent dans la case.

Fig. 22 *et* 23.

73. Les bois qui servent à la construction des cases ont d'équarrissage, savoir : les semelles, 0,11 mètres (4^pouces^) sur 0,16 mètres (6^pouces^); les montans, 0,16 sur 0,16 mètres (6 sur 6^pouces^); les chapeaux autant, et les poutrelles, 0,16 sur 0,19 mètres (6 sur 7^pouces^). Les chapeaux, les montans et les semelles s'assemblent à tenons et mortaises.

SECTION IX.

Des constructions en maçonnerie.

74. Ainsi que les galeries en bois, celles en maçonnerie peuvent s'exécuter ou souterrainement ou à ciel ouvert; cependant on n'en construit guères souterrainement que lorsqu'on y est obligé par leur grand enfoncement dans les terres, par leur position sous des ouvrages revêtus, par la dureté du terrain au-dessus d'elles, ou enfin, par l'approche présumée de l'ennemi : dans tout autre cas la construction à ciel ouvert est préférable, comme plus prompte et plus économique.

75. Une galerie à revêtir souterrainement en maçonnerie s'exécute préalablement en bois; elle doit par conséquent avoir une capacité telle qu'elle puisse contenir celle en maçonnerie dans son intérieur : ainsi, s'il s'agit d'une grande galerie, la galerie en bois doit avoir 2,22 mètres (7^{pieds}) de haut et deux mètres (6^{pieds}) de large dans œuvre, parce qu'on donne à chacun des deux pieds-droits de la galerie en maçonnerie 0,50 mètres (18^{pouces}) d'épaisseur, et à la voûte 0,32 mètres (1^{pied}) à la clef.

76. La largeur dans œuvre d'une grande galerie étant d'un mètre (3^{pieds}), et la courbe de sa voûte ordinairement demi-circulaire, cette courbe occupe donc 0,5 mètres (18^{pouces}) de hauteur de la galerie; le reste de cette hauteur, 1,4 mètres (4^{pieds} 6^{pouces}), est occupé par les pieds-droits, qu'on élève sur

une petite fondation de 0,15 à 0,20 mètres (6 à 8^{pouces}) de profondeur, qui rentre en retraite dans la galerie d'environ autant.

SECTION X.

Détails d'exécution sous œuvre.

PLANCHE II. 77. DANS les terrains qui chargent extrêmement le ciel et qui poussent fortement le coffrage, on ne peut, en maçonnant une galerie préalablement boisée, retirer aucun des bois qui ont servi à la construire. Les pieds-droits et la voûte, dans ce cas, s'exécutent sans égard pour les châssis; et, à la gêne près, qui oblige à ne voûter que par petites parties à la fois, on procède comme en plein air.

Avant d'expliquer la marche du travail de la voûte, nous allons faire connoître le petit appareil de charpente dont on a besoin.

78. 1.° Lorsque les pieds-droits sont à leur hauteur, on dispose sur l'un des côtés de la galerie un cours de sablières, soutenu par des pointelets, et fixé au pied-droit par des crampons. Ces sablières, qui doivent régner à hauteur du pied-droit auquel on les applique, ont pour objet de soutenir une des extrémités des tambours sur lesquels la voûte doit se construire.

Fig. 24. 2.° Il faut ensuite des châssis de même hauteur que les pieds-droits, et de 0,5 mètres (18^{pouces}) de longueur courante, destinés à faire sur l'un des côtés de la galerie le même

office que les sablières font de l'autre, c'est-à-dire à soutenir une extrémité des tambours pendant l'exécution progressive de la voûte. PLANCHE II.

3.° Il faut enfin des tambours demi-cylindriques ou de la figure qu'on veut donner à la voûte, et de 0,5 mètres (18^{pouces}) seulement de longueur courante. Ces tambours sont composés de deux cintres en madriers de sapin, de 0,04 à 0,045 mètres (18 à 20^{lignes}) d'épaisseur, liés ensemble par des douelles minces et étroites sur leur partie courbe, et par deux tringles encastrées dans leur base.

79. Cela préparé, on établit au milieu de la longueur de la galerie à voûter deux tambours consécutifs, appuyés d'une part sur les sablières fixes, et de l'autre sur deux châssis mobiles; deux maçons s'emparent alors des tambours, et chacun d'eux en maçonne un. *Fig.* 24.

80. On ne donne que 0,5 mètres (18^{pouces}) de longueur courante à chaque tambour, afin que le maçon travaillant à voûter puisse commodément porter la main partout où l'exige sa besogne.

81. Le mortier et les autres matériaux sont mis à portée du maçon, sur un petit échafaud portatif, composé de quelques planches, et de deux tréteaux qu'on dresse entre les deux pieds-droits de la galerie, près du tambour qu'on maçonne.

82. Lorsque les deux premiers tambours sont maçonnés, chaque maçon en pose un nouveau de son côté, et ainsi de suite, de manière que les deux maçons arrivent en même temps aux deux extrémités de la galerie.

On conçoit qu'il ne faut pas autant de tambours que la longueur de la galerie à voûter contient de fois 0,5

PLANCHE III. mètres (18^{pouces}). En effet, les premiers tambours posés peuvent s'enlever de leurs places pour être mis en avant des seconds quand ceux-ci sont maçonnés, et à leur tour les seconds se rapporter en avant des troisièmes etc. Au moyen de ces changémens successifs, quatre tambours et autant de châssis suffisent pour exécuter progressivement la voûte d'une galerie.

83. Pour enlever un tambour déjà maçonné, on creuse sous le châssis qui le soutient; le châssis baisse, et le tambour obéit ou non à ce mouvement: s'il obéit, on a soin d'empêcher qu'il ne tombe brusquement à terre, ce qui pourroit le disloquer; s'il n'obéit pas, on l'y oblige par de légers coups de masse, appliqués vers celle de ses extrémités qui reposoit sur le châssis, et on observe toujours qu'une chute brusque ne le mette hors de service.

Voilà à quoi se réduit, dans un terrain qui oblige au sacrifice des étais d'une galerie préalablement boisée, le travail pour son exécution en maçonnerie.

84. Mais lorsque le terrain est traitable, lorsqu'il se soutient au moins latéralement, on peut, au moyen d'une simple précaution pendant la construction en bois de la galerie, retirer presque tous les bois qui ont servi à la construire. Cette précaution consiste à faire déborder d'environ 0,20 mètres (7^{pouces}) les madriers de chaque ciel, afin qu'on puisse à côté de chaque châssis en poser un autre quand il en est temps. Ce dernier est un faux châssis, *Fig.* 25. dont les montans *b* n'ont d'écartement hors d'œuvre, quand il est assemblé, que la largeur de la galerie entre les deux pieds-droits. Expliquons le reste.

85. La fondation des pieds-droits étant faite, on place

les faux châssis sous les rebords en question des madriers de ciel, et on fait porter le pied de leur montant *b* sur des plateaux ou des pierres plates. Cela fait, on contient, s'il est nécessaire, les planches supérieures du coffrage par des étrésillonnages en travers de la galerie : on enlève les vrais châssis, ainsi que les planches non étrésillonnées du coffrage inférieur, et on construit les pieds-droits. Dès qu'ils sont à hauteur, on soutient les faux chapeaux *c* par des pointeaux *a*, dont le pied repose sur les pieds-droits; ce qui permet d'enlever les faux montans *b* en même temps que les étrésillonnages qui soutiennent les planches du coffrage supérieur, si on a dû en employer. Alors il ne reste plus dans la galerie que les faux chapeaux *c*, les pointeaux *a* qui les soutiennent, et les madriers du ciel; toutes choses qu'on pourra encore retirer (sauf peut-être quelques-uns des madriers), par des procédés qu'indiqueront les circonstances pendant le travail de la voûte qui, d'ailleurs, s'exécute comme il a été dit aux n.os 79 et suivans. PLANCHE III. *Fig.* 25.

SECTION XI.

Détails d'exécution à ciel ouvert.

86. Il y a, relativement à la nature du terrain, deux manières d'exécuter à ciel ouvert une galerie en maçonnerie. Ces deux manières, quant à la fouille de la tranchée, se rapportent à ce qui a été dit (n.os 67 et 68) sur la cons-

truction des galeries en bois. Il ne reste donc plus qu'à détailler le travail du maçon dans les deux cas.

87. Premier cas : lorsque les joues de la tranchée n'ont pas eu besoin d'être étayées (n.° 67).

Quand les pieds-droits sont élevés, on dispose le long d'eux des cours de sablières, sur lesquels on établit des cintres assez rapprochés les uns des autres pour que les douelles qui les lient ne fléchissent point sous le poids des voussoirs; de cette manière on forme un tambour continu, que maçonne un nombre d'ouvriers proportionné à son développement. La voûte achevée et un peu séchée, on remblaie par-dessus.

88. Deuxième cas : lorsqu'on a étayé les joues de la tranchée et qu'on en veut retirer les bois (n.° 68).

Remarquons d'abord que le dernier rang de cadres de la fouille a dû être placé à 0,33 mètres (1^{pied}) du sol de la galerie, et que si les planches du dernier coffrage ne descendent point jusques sur ce sol, elles doivent au moins déborder de 0,10 à 0,12 mètres (4 à 5^{pouces}) le dessous du dernier rang de cadres. Cela observé, voyons comment on construit les pieds-droits. On les élève d'abord d'environ 0,33 mètres (1^{pied}), de sorte que les planches du dernier coffrage étant engagées derrière eux, on puisse dès-lors enlever le dernier rang de cadres.

On continue ensuite à élever les pieds-droits, et avec la pince à pointe, à laquelle ils servent de point d'appui, on fait, à mesure qu'ils s'élèvent, remonter proportionnellement les planches du dernier coffrage. Lorsque les pieds-droits sont à hauteur du second rang de cadres, on soutient momentanément le second rang de planches de coffrage par des

étrésillonnages en travers de la galerie, ce qui permet d'enlever ce second rang de cadres. On achève enfin les pieds-droits, derrière lesquels les planches du second coffrage demeurent engagées, et alors les étrésillonnages deviennent inutiles. On les enlève donc, et la voûte alors se construit de la même manière que celle du numéro précédent. Quand elle est achevée et un peu séchée, on commence le remplissage entre son imposte et son extrados avec de la terre glaise, si on en a, et on travaille de nouveau à faire remonter graduellement les planches de coffrage qu'on a laissées appuyées derrière les pieds-droits. On remblaie ensuite pardessus la voûte, en ne négligeant aucune des précautions prescrites à la fin du n.° 68; et par ce moyen on retire non-seulement tous les bois de la tranchée, mais encore on évite les accidens des éboulis.

89. Nous avons dit (n.° 74) que la construction à ciel ouvert des galeries en maçonnerie étoit plus prompte et plus économique que la construction souterraine : prouvons cela.

Elle est plus prompte, parce qu'une tranchée pouvant être considérée comme un puits continu ouvert sur toute la longueur d'une galerie, la fouille de ce grand puits, si on a des bras et des matériaux à discrétion, pourra s'exécuter dans le même temps que celle d'un puits ordinaire.

Elle est plus économique, parce que, quelle que soit la mauvaise qualité du terrain, on ne perd aucun des bois de la tranchée, ce qu'on ne peut pas dire de la construction souterraine; et parce qu'il y a encore à gagner sur le nombre des journées d'ouvriers. En effet, dans la construction souterraine deux brigades de mineurs de quatre hommes chacune, partant des deux côtés opposés du fond d'un

puits, emploieront quatre jours de travail pour fouiller et boiser, chacune de son côté, deux mètres (6^{pieds}) de galerie de 2,22 mètres (7^{pieds}) de haut sur deux mètres (6^{pieds}) de large; ce qui donnera trente-deux journées d'ouvrier pour quatre mètres (12^{pieds}) de galerie. Dans la construction à ciel ouvert, les deux mêmes brigades de mineurs fouilleront en deux jours de travail quatre mètres (12^{pieds}) de tranchée de six à 6,5 mètres (18 à 20^{pieds}) de profondeur : elles les boiseront en un demi-jour, et, quand la voûte sera achevée, elles remblaieront par-dessus en un jour.

Ces deux brigades n'employant à ciel ouvert que trois jours et demi de travail, ou vingt-huit journées d'ouvrier, pour faire quatre mètres (12^{pieds}) de galerie, il y a par conséquent, indépendamment des autres avantages, quatre journées d'ouvrier de moins à payer que dans le travail sous œuvre.

Ajoutons que, même à nombre égal d'ouvriers, la maçonnerie exécutée à ciel ouvert sera faite plus tôt et mieux soignée que celle exécutée souterrainement. Lors donc que les galeries à construire ne devront pas avoir plus de six à 6,5 mètres (18 à 20^{pieds}) de terre au-dessus de leur sol, qu'elles ne seront pas projetées sous des ouvrages revêtus, que le terrain d'au-dessus ne sera pas d'une trop grande dureté, et qu'enfin on n'aura pas à craindre que la place soit investie avant l'achèvement du travail, on devra préférer la méthode des tranchées à la construction souterraine.

90. La construction des tambours qui servent à voûter les galeries n'offre rien de difficile; mais celle des tambours qui servent à voûter les cases exige certains détails qui sont l'objet de la section suivante.

SECTION XII.

Construction des cases en maçonnerie.

91. Les cases se construisent toujours à ciel ouvert; car leur emplacement étant à la jonction de plusieurs galeries (n.os 28 et 71), c'est aussi là que s'ouvrent les puits principaux. PLANCHE III.

92. On peut voûter les cases en plein cintre, en demi-ellipse, ou en coupole.

Dans les deux premières manières, l'intrados de la voûte des cases ne s'élève pas plus que celui de la voûte des galeries : dans la dernière il s'élève davantage, au moins ordinairement.

Nous allons détailler ces trois manières, en supposant dans toutes des réunions de galeries de 1,9 mètres (6pieds) de haut sur un mètre (3pieds) de large.

93. Première manière : voûter les cases en plein cintre.

Soit la galerie *A B*, coupée à angle droit par celle *C D*. Voulant donner deux mètres (6pieds) de côté à l'aire de la case carrée *F* (n.° 70), on élèvera ses pieds-droits comme ils sont représentés à la figure, avec l'attention, puisque le tambour de la case doit avoir un mètre (3pieds) de rayon, de n'élever les portions *E* des pieds-droits que de 0,9 mètres (3pieds) seulement (voyez la fig. 27, qui représente le tambour *T* de la case, placé pour en recevoir la voûte). Les pieds-droits étant ainsi élevés, on terminera la voûte des galeries *C* et *D* au débouché de ces galeries dans la case, et la voûte des galeries *A* et *B* ne sera conduite que jusqu'au point *c c*, où Fig. 26.

PLANCHE III. commencent les portions *E* des pieds-droits. On placera ensuite le grand tambour de la case, que l'on soutiendra comme l'indique la figure 27, et on clouera des douelles *GG*, qui iront de dessus les tambours des galeries *A* et *B* s'appliquer sur celui de la case, de manière à se dessiner sur sa courbure comme si elles la pénétroient pour se rencontrer. Il faudra avoir soin d'amincir l'extrémité des douelles qui porteront sur le tambour *T*, afin qu'elles n'occasionnent point d'inégalités désagréables à la voûte. Tout cela fait, il ne restera plus qu'à maçonner.

94. Première remarque. Le grand tambour de la case, pour être maniable, doit être composé de quatre tambours particuliers, égaux si l'on veut, construits chacun avec deux cintres en forts madriers de sapin, et liés ensemble, comme on l'a dit de ceux qui servent à voûter les galeries. Il faut aussi qu'une des extrémités de chaque tambour partiel repose sur un châssis mobile, qui lui soit égal en longueur courante, afin de pouvoir enlever ces tambours les uns après les autres quand la voûte est terminée; ce qu'on ne pourroit pas faire aisément, si leurs deux extrémités portoient sur des sablières fixes.

Fig. 26. 95. Deuxième remarque. Si la galerie *D* ne faisoit que déboucher dans la case *F*, sans couper la galerie *AB* et se continuer en *C*, la voûte de la case pourroit encore se faire comme dans le cas précédent : la seule attention à avoir consisteroit à prolonger les pieds-droits *bb* jusqu'à ce qu'ils se joignissent, et à les élever à la même hauteur que la voûte, afin de masquer l'ouverture *aa*.

Fig. 28. 96. Troisième remarque. Si une galerie *CD* coupoit une galerie *AB* sous un angle différent de l'angle droit, on

pourroit encore faire une case carrée F à leur point d'intersection, en traçant les pieds-droits comme le fait voir la figure, et en n'élevant toujours les portions E que de 0,9 mètres (3^{pieds}). On observeroit seulement que, pour terminer la voûte des galeries C et D à leur débouché dans la case, il faudroit que les derniers tambours des galeries y débordassent assez pour que le maçon pût arrêter la voûte suivant les directions ab et ed. On pourroit encore faire des tambours obliques pour voûter les portions abc et def des galeries C et D; mais ce moyen est plus long et n'est pas meilleur que l'autre. PLANCHE III.

97. Deuxième manière : voûter les cases en demi-ellipse.

Les *cases voûtées* en plein cintre, dont on ne veut pas élever l'intrados plus que celui des galeries qui y aboutissent, ont le défaut de ne pouvoir contenir d'hommes debout qu'au milieu de leur largeur. En effet, leur voûte commençant à 0,9 mètres (3^{pieds}) du sol, quand leur aire a deux mètres (6^{pieds}) *de côté*, un homme de taille de mineur est obligé de se courber pour peu qu'il s'approche des pieds-droits. Pour remédier à cet inconvénient, on a imaginé de faire les voûtes elliptiques, ce qui permet d'élever les pieds-droits des cases à la même hauteur que ceux des galeries, sans pour cela élever davantage leur intrados. Cette méthode seroit donc déjà nécessaire à connoître sous ce rapport, quand elle ne le seroit pas sous un autre que nous allons préalablement expliquer.

98. Voûter le point de rencontre de deux galeries qui ne se coupent point.

Soient les galeries A et B, qui se rencontrent sous un angle quelconque sans se couper. Pour voûter ce coude, il Fig. 29.

PLANCHE III. faut nécessairement trouver une demi-ellipse qui ait pour grand axe la diagonale *DF*, et dont le demi petit axe n'ait que 0,5 mètres (18 pouces), c'est-à-dire la même longueur que le rayon de la voûte des galeries dont il est ici question. Voici, pour trouver cette demi-ellipse, la méthode la plus propre à être bien comprise.

Sur un plancher bien uni, représentez de grandeur naturelle la position et la largeur des deux galeries *A* et *B*: sur *CD*, largeur de la galerie *B*, pris pour diamètre, décrivez la demi-circonférence *CED*: divisez *CD* en un nombre quelconque de parties égales 1, 2, 3, 4, 5, etc.; le plus sera le meilleur : par ces points de division élevez les perpendiculaires 1 *a*, 2 *b*, 3 *c*, 4 *d*, 5 *e*, etc., dont plusieurs doivent couper la diagonale *DF* en dedans du demi-cercle *CEDC*, et les autres aboutir à cette diagonale hors de ce demi-cercle : ensuite, des points où ces perpendiculaires aboutissent à la diagonale, ou la coupent, menez-lui d'autres perpendiculaires indéfinies, *q* 15, *r* 14, *s* 13, *t* 12, *u* 11, etc., et faites *q* 15 = 1 *a*, *r* 14 = 2 *b*, *s* 13 = 3 *c*, *t* 12 = 4 *d*, *u* 11 = 5 *e*, etc., en continuant jusqu'à la fin à faire les perpendiculaires élevées sur la diagonale *DF* égales, chacune à chacune, aux ordonnées du diamètre *CD*: enfin, faites passer à la main, le plus régulièrement possible, la courbe *FHD* par les points 15, 14, 13, 12, 11, etc., et vous aurez la demi-ellipse cherchée *FHDF*. Voici maintenant la manière de l'employer. Placez-la verticalement suivant la diagonale *DF*, de façon que les extrémités de son grand axe reposent à hauteur des pieds-droits, et liez sa partie courbe, par des douelles, à des cintres demi-circulaires placés en *CD* et *DG*; vous aurez tout d'un coup un tam-

Fig. 29.

bour assorti à l'espèce de voûte qui convient au coude formé par la rencontre des deux galeries *A* et *B*. PLANCHE III.

99. Construire une case à voûte elliptique.

Soient deux galeries *AB* et *CD*, qui se coupent perpendiculairement. Voulant à leur point d'intersection former une case *F* de deux mètres (6^{pieds}) en carré, on tracera d'abord les pieds-droits comme le représente la figure, et on les élèvera partout à 1,4 mètres (4^{pieds} 6^{pouces}) de hauteur, comme ceux des galeries. La voûte des galeries *C* et *D* sera terminée à leur débouché dans la case, et celle des galeries *A* et *B* le sera provisoirement en *aa* et *bb*, afin que, les portions *P* des pieds-droits restant libres, elles puissent soutenir à la fois la voûte elliptique de la case et le reste de la voûte demi-circulaire des galeries *A* et *B*. Construisons maintenant le grand tambour de la case. Les cintres dont il doit être composé auront deux mètres (6^{pieds}) de longueur et 0,5 mètres (18^{pouces}) de plus grande hauteur, parce que l'aire de la case a deux mètres (6^{pieds}) de côté, et que la voûte des galeries a 0,5 mètres (18^{pouces}) de rayon. Voici la manière de tracer ces cintres. *Fig.* 30

Construisez, sur un plancher bien uni et de grandeur naturelle, un triangle rectangle *EMG*, en faisant *MG* = un mètre (3^{pieds}), *MQ*, perpendiculaire indéfinie, élevée du point *M* de *MG*, et *GE* = 2 mètres (6^{pieds}): décrivez sur *MG*, comme diamètre, la demi-circonférence *MNG*, et procédez, pour déterminer la courbe *EOG*, comme on l'a dit ci-devant pour trouver la demi-ellipse *FHDF* de la fig. 29; vous aurez la demi-ellipse *EOGE* pour les cintres cherchés. Ayant ensuite construit et placé le grand tambour de la case *F*, comme l'indique la remarque n.° 94, vous *Fig.* 31. *Fig.* 30.

PLANCHE III. clouerez sur les tambours des galeries A et B des douelles qui iront s'appliquer sur celui de la case, et il ne restera plus qu'à maçonner.

Fig. 28. 100. Remarque. Si deux galeries AB et CD se coupoient obliquement, et qu'on voulût néanmoins construire une case carrée à voûte elliptique à leur point d'intersection, on disposeroit les pieds-droits comme ils sont représentés à la figure; on les éleveroit partout à la même hauteur de 1,4 mètres (4^{pieds} 6^{pouces}), comme ceux des galeries aboutissantes, et la voûte de la case pourroit alors s'exécuter avec le tambour du numéro précédent.

101. Troisième manière : vouter les cases en coupole.

Lorsqu'on a à construire une case au point de concours de plus de quatre galeries, ou bien lorsqu'un nombre quelconque de galeries, en se réunissant au même point, ne tiennent pas des directions identiques deux à deux, alors, pour éviter des constructions embarrassantes de tambours, on voûte les cases en coupole; et voici comment elles s'exécutent.

Fig. 32. 102. Soient les cinq galeries A, B, C, D et E; proposition qui comprend les deux cas dont nous venons de parler, en ce que les galeries sont au nombre de plus de quatre, et que le prolongement CG de la galerie C ne suit pas la même direction qu'une des galeries opposées. Voulant voûter la case F en coupole demi-sphérique et lui donner trois mètres (9^{pieds}) de diamètre et 2,9 mètres (9^{pieds}) de hauteur sous clef, on élèvera les pieds-droits partout à 1,4 mètres (4^{pieds} 6^{pouces}) de hauteur, après les avoir tracés comme le représente la figure. Voyons maintenant comment on construit le tambour pour voûter cette case.

On a un arbre *F* de 0,33 mètres (12^{pouces}) d'équarrissage, taillé à huit pans, dont la hauteur *FH* est de 2,9 mètres (9^{pieds}), moins l'épaisseur d'un fort plateau sur lequel porte son extrémité inférieure, et qui a son sommet arrondi en calotte sphérique. Cet arbre se place verticalement au milieu de la case à construire, et de chacun de ses huit pans, à hauteur des pieds-droits, partent des rayons horizontaux *ab*, dont les extrémités *b* s'appuient sur des pointelets *bc*. Sur chacune des extrémités *b* des rayons *ab* s'ajustent des arceaux, *deg*, en madriers de sapin de 0,05 mètres (2^{pouces}) d'épaisseur et de 0,20 mètres (7^{pouces}) de largeur, qui vont s'assembler vers le sommet de l'arbre *FH*. Ces arceaux ont des *entailles* sur leur courbure extérieure, coupées et distantes entre elles, comme l'indique la fig. 33, et elles servent à recevoir des espèces de *jantes*, qui, allant d'un arceau à l'autre, décrivent ensemble, autour du même axe, des cercles inégaux, pour couvrir, tant plein que vide, la convexité du tambour. PLANCHE III. Fig. 32 et 33.

Lorsque toutes ces pièces, qui doivent s'assembler sans effort, sont en place, le tambour est construit, et il ne reste plus, avant de maçonner, qu'à faire partir, de dessus les tambours des galeries aboutissantes, des douelles *KK* qui aillent s'appliquer sur le tambour de la case.

Pour retirer ce tambour quand le travail de la voûte est terminé, on enlève d'abord les pointelets *bc*, ensuite le plateau sur lequel porte l'arbre *FH*; ce qui détermine les autres pièces du tambour à se lâcher un peu, de manière qu'on peut alors les retirer toutes les unes après les autres sans aucune difficulté.

103. Quoique nous ayons dit qu'on ne construisoit les

PLANCHE IV. cases en coupole que pour éviter des constructions embarrassantes de tambours, elles peuvent cependant être construites de cette manière quels que soient le nombre et la direction des galeries qui y aboutissent : on doit même préférer cette forme à toutes les autres dans tous les cas. Mais comme la voûte d'une case en coupole est ordinairement plus élevée que celles des galeries adjacentes, il se pourroit quelquefois qu'en la faisant demi-sphérique elle n'eût pas les 2,65 mètres à 3 mètres (8 à 9^{pieds}) de terre qu'elle doit avoir au-dessus d'elle pour être à l'abri des bombes et des recherches du mineur ennemi; et cela arriveroit en effet si le sol de la case n'étoit pas à environ six ou 6,5 mètres (19 à 20^{pieds}) au-dessous de la surface du terrain. Lors donc qu'il n'en est qu'à cinq mètres ou 5,5 mètres (16 à 17^{pieds}) environ, et qu'on veut néanmoins conserver 2,65 à trois mètres (8 à 9^{pieds}) de terre au-dessus de sa voûte, cette voûte ne peut plus être demi-sphérique; il faut qu'elle soit aplatie. Expliquons cette construction.

Fig. 34. Soient les quatre galeries *A*, *B*, *C* et *D*, et qu'à leur point de concours il s'agisse de construire une case *F* en coupole de 2,6 mètres (8^{pieds}) de diamètre; le sol de cette case supposé à 5,2 mètres (16^{pieds}) en contre-bas de la surface du terrain : 0,33 mètres (1^{pied}) d'épaisseur de voûte et 2,63 mètres (8^{pieds}) de terre au-dessus font 2,96 mètres (9^{pieds}) à retrancher de 5,20 mètres (16^{pieds}); reste 2,24 mètres (7^{pieds}) pour la hauteur de la case, dont 1,40 mètres (4^{pieds} 6^{pouces}) pour les pieds-droits, et par conséquent 0,84 mètres (2^{pieds} 6^{pouces}) pour la voûte. Or, cette case ayant 2,60 mètres (8^{pieds}) de diamètre, et sa voûte seulement 0,84 mètres (2^{pieds} 6^{pouces}) de hauteur sous clef, il faut chercher une courbe qui lui convienne.

Sur un plancher bien uni tirez une ligne ab, que vous ferez égale à 2,60 mètres (8^{pieds}), et élevez sur son milieu c une perpendiculaire $cd = 0{,}84$ mètres ($2^{pieds}\ 6^{pouces}$) : il s'agit maintenant de faire passer une courbe elliptique par les points donnés a, d et b. Voici d'abord la manière de déterminer les foyers f et g de l'ellipse. La distance entre ces deux foyers étant égale au double de la racine carrée du carré de ac moins le carré de cd, dont les longueurs sont connues, puisque $ac = 1{,}30$ mètres (4^{pieds}), et $cd = 0{,}84$ mètres ($2^{pieds}\ 6^{pouces}$), carrez donc 1,30 mètres (4^{pieds}); vous aurez 1,69 mètres (16^{pieds}) carrés : carrez 0,84 mètres ($2^{pieds}\ 6^{pouces}$), vous aurez 0,7056 mètres ($6{,}25^{pieds}$) carrés : retranchez ce dernier carré du premier ; il vous restera 0,9844 mètres ($9{,}75^{pieds}$) carrés, dont la racine carrée est de 0,9921 mètres ($3^{pieds}\ 1^{pouce}$) à moins d'un dix-millième près. Doublez cette racine, vous aurez 1,9842 mètres ($6^{pieds}\ 2^{pouces}$ et un peu plus de 11 lignes) : mais vous arrêtant à 1,984 mètres ($6^{pieds}\ 2^{pouces}\ 11^{lignes}$), résultat assez exact dans la pratique, prenez-en la moitié, qui est de 0,992 mètres ($3^{pieds}\ 1^{pouce}\ 5^{lignes}\frac{1}{2}$), et portez cette moitié de c en f et de c en g; les points f et g seront ceux cherchés, ou les foyers de l'ellipse. Ayez maintenant une ficelle mince de la longueur de ab, ou de 2,60 mètres (8^{pieds}); arrêtez ses extrémités aux points f et g; tendez ensuite cette ficelle au moyen d'un style ou d'un crayon, de manière qu'en la tendant toujours vous décriviez au-dessus de ab une courbe, qui ne manquera pas de passer par le point d : vous aurez ainsi la demi-ellipse $adba$, qui va vous servir pour la construction du tambour de la case F.

PLANCHE IV. Fig. 35.

L'arbre FH, les rayons ab et les pointelets bc, s'ajustent

Fig. 34 et 36

PLANCHE IV. dans ce cas-ci comme dans le précédent. A l'égard des
Fig. 35. arceaux *deg*, on les taille sur l'épure *adbc*, comme on en voit deux lavés en couleur de bois sur cette figure; leurs entailles sont d'ailleurs coupées d'une manière analogue à celles de la fig. 33 (Pl. III), pour recevoir les espèces de jantes destinées à couvrir, tant plein que vide, la convexité
Fig. 36. du tambour, et les douelles *KK* vont également de dessus les tambours des galeries adjacentes s'appliquer sur celui de la case.

104. Au lieu de deux mètres (6^{pieds}) de côté que nous avons dit (n.° 70) devoir suffire à l'aire des cases formées au point de concours de quatre galeries, nous avons donné 2,6 mètres (8^{pieds}) de diamètre à celle de la figure 34, parce que, formant un cercle, son aire n'a pas beaucoup plus de surface que celle d'une case carrée de deux mètres (6^{pieds}), et que cette grandeur est nécessaire pour y pouvoir tourner commodément avec une brouette, quand on sort de la galerie *A*, par exemple, pour entrer dans une des galeries *C* ou *D*.

105. Outre les voûtes de forme elliptique, on en construit encore en *anse de panier*. Cette forme étant très-communément employée, nous allons donner ici la manière graphique de tracer une de ces voûtes.

Fig. 37. La longueur des axes étant donnée, menez la ligne *ab* égale à la longueur du grand axe : élevez sur son milieu *d* la perpendiculaire *dc* égale à la moitié de la longueur du petit axe, et prolongez cette ligne indéfiniment vers *x*: ensuite, avec une ouverture de compas égale à *ac* ou *bc*, décrivez des points *a* et *b*, comme centres, les arcs de cercle *cf* et *ce*; prenez la distance *ef*, et portez-la de *f* en *g* en décrivant l'arc *hgi*; prenez la distance *eg*, et portez-la de

a en p et de b en q. Des deux points a et b comme centres, et avec une ouverture de compas égale à ap ou bq, décrivez les arcs smp et tnq; et des points p et q, comme centres, et avec la même ouverture de compas, décrivez les arcs am et bn: ces arcs seront déjà des portions de l'anse de panier. Enfin, tirez une droite de m en c, et sur le milieu r de cette ligne menez la perpendiculaire rz, par le point o, où cette ligne coupe le prolongement du petit axe, et avec une ouverture de compas égale à om ou on, décrivez l'arc mcn: cette courbe ne manquera pas de passer par le point c et de se confondre avec les arcs am et bn. On aura par conséquent l'anse de panier $amcnb$ cherchée, et on auroit sa contre-partie en répétant en dessous de la figure les opérations qu'on a faites en dessus.

SECTION XIII.

Construction souterraine des galeries dans les terrains qui se soutiennent d'eux-mêmes.

106. Il nous reste à expliquer la construction sous œuvre des galeries situées dans des terrains qui, comme les tufs francs, les tufs mêlés de cailloux et de grosses roches, les rocs et les pierres tendres, permettent de cheminer sans étais qui les soutiennent. Voici donc la marche du travail dans les trois sortes de cas que présentent ces différens terrains.

107. Premier cas. Dans les tufs francs et dans ceux mêlés de cailloux, on n'a besoin d'employer ni outils ni moyens extraordinaires; mais comme on n'y pose point de châssis, et

par conséquent point de semelles, on observe, pour en tenir lieu, de planter de mètre en mètre (de 3 en 3^{pieds}) des piquets dans le sol de la galerie, pour en assurer la direction, le niveau ou la pente.

108. Deuxième cas. Dans les tufs mêlés de grosses roches et dans le roc, les instrumens, quels qu'ils soient, ne suffisent pas; il faut encore le secours de la poudre. Expliquons comment on l'emploie. Les outils ordinaires n'ayant plus de prise sur le massif qu'il s'agit de percer, on choisit l'emplacement le plus favorable pour y faire ce que les mineurs appellent un *pétard.* Ce pétard est un trou de 0,04 à 0,05 mètres (20 à 22^{lignes}) de diamètre et d'une profondeur quelconque, qu'on charge de poudre, qu'on bourre, et auquel on met le feu. Son effet enlève plus ou moins du roc dans lequel on l'a creusé, suivant qu'on a pu le placer plus ou moins avantageusement et lui donner plus ou moins de profondeur.

Pour creuser un pétard, on se sert d'une *aiguille,* que l'on fait agir à bras, ou d'un *pistolet*, sur lequel on frappe avec la masse. Lorsqu'il est creusé, on y verse de la poudre jusqu'au quart ou au tiers de sa profondeur, et on y plonge une *épinglette,* appliquée le long de la paroi la plus unie du trou, de manière que, sans en toucher le fond, elle trempe le plus possible dans la poudre. Cela fait, on met par-dessus la charge une première couche de bourrage, que l'on presse fortement, soit avec un grand *refouloir* qui, comme l'aiguille, se meut à bras, ou avec un plus petit, qui, comme le pistolet, est frappé avec la masse. Cette première couche de bourrage doit être de terre glaise bien sèche, sans mélange de cailloux gros ou petits. Le reste du

bourrage se compose de pareille terre et de légers morceaux de briques, ou de substances équivalentes, et on a le soin, chaque fois qu'on a refoulé une couche de bourrage, de tourner l'épinglette, afin de ne pas la trouver inébranlable au moment de la retirer tout-à-fait. Le bourrage achevé, on fait avec de la glaise un peu molle une espèce de coquille autour de l'épinglette, et ensuite on retire cette épinglette en la tournant toujours dans le même sens. La place qu'elle occupoit dans le bourrage reste vide, et sert de lumière pour communiquer le feu à la charge. On fait couler de la poudre bien grenée dans cette lumière; on en réunit la valeur d'environ deux décagrammes (6^{gros}) dans la coquille de terre glaise, et le pétard est amorcé. Voici *maintenant* comment on y met le feu.

On forme avec de l'amadou bien égal une petite pyramide quadrangulaire d'environ 0,005 mètres (2^{lignes}) de côté à sa base, et de 0,025 à 0,030 mètres (12 à 14^{lignes}) de hauteur. On a de plus un carré de papier de 0,08 à 0,10 mètres (3 à 4^{pouces}) de côté, au milieu duquel on fait un petit trou pour y engager la pyramide d'amadou de la moitié de sa hauteur. Le gros bout de cette pyramide se fend alors en quatre, et on a ce que les mineurs nomment un *moine*.

Pour s'en servir, on écrase un peu de poudre dans le creux de la main, et on y frotte le gros bout du moine, qui n'a été divisé en quatre que pour mieux se charger de poulevrin. On place ensuite le moine sur l'amorce du pétard, de façon que le gros bout repose bien dans la poudre; on l'assujettit dans cette position avec de petites pierres posées aux angles du carré de papier; on met le feu au petit bout de la pyramide avec un autre morceau d'amadou allumé,

et on se retire. Le feu, en consumant la pyramide, gagne bientôt la partie chargée de poulevrin ; la poudre s'enflamme et le pétard fait son effet.

La manière de pétarder telle qu'on vient de la décrire, s'emploie non-seulement dans la fouille des galeries où elle est nécessaire, mais encore dans l'exploitation des carrières de rocs ou de pierres froides ; et sous ces deux rapports elle doit faire partie de l'instruction du mineur.

109. Troisième cas. On entend par pierres tendres celles qui ne résistent pas absolument à la pioche, car autrement elles rentreroient dans la classe des rocs. Il est donc convenu que l'emploi de la poudre y est inutile : mais comme la fouille à la pioche seroit extrêmement lente, indiquons un moyen de la rendre plus expéditive.

On creuse, soit avec la *tranche*, soit avec le *ciseau*, des rainures en différens sens, et le plus profondément possible, dans le massif à enlever : ensuite, au moyen de coins de fer chassés violemment dans des *prises* pratiquées à cet effet à plus ou moins de distance des rainures, on parvient à enlever d'assez gros éclats de pierre ; ce qui accélère la marche de la fouille. C'est tout ce qu'il y avoit à dire sur ce sujet.

110. Comme on ne peut, dans le sol d'une galerie que l'on construit dans la pierre ou le roc, planter des piquets pour régler sa direction, son niveau ou sa pente, on y supplée par le moyen suivant. On suspend en dehors, près de l'entrée de la galerie que l'on construit, deux aplombs qui soient bien dans le plan vertical passant par le milieu de sa largeur : alors, à mesure d'avancement d'œuvre, on vérifie avec un autre aplomb si la galerie marche bien dans la direction qu'elle doit avoir ; ce qui a lieu lorsque la ficelle

de l'aplomb vérificateur, placé sur le milieu de la largeur de la partie construite de la galerie, correspond parfaitement avec les ficelles des aplombs directeurs.

A l'égard du niveau ou de la pente à observer dans les mêmes galeries, comme le sol d'abord en est inévitablement très-raboteux, on est obligé de l'égaliser à mesure qu'on avance, et c'est en l'égalisant qu'on règle le niveau ou la pente de la galerie, au moyen de quelques pierres plates que l'on place de distance à autre sur son sol pour tenir lieu de piquets de hauteur.

111. On donne, autant qu'on le peut, aux galeries qu'on exécute dans les terrains qui se soutiennent d'eux-mêmes, la figure de celles qu'on revêt en maçonnerie, c'est-à-dire qu'on les cintre : elles en ont plus de grâce, plus de solidité, et la main d'œuvre en est plus prompte et plus facile.

SECTION XIV.

Réparations des galeries en bois.

112. Les bois de châssis, les madriers de ciel et les planches de coffrage, se détériorent d'autant plus vîte dans une galerie qu'elle est plus sujette à passer alternativement de l'état de sécheresse à celui d'humidité. En général, les bois de chêne durent cinq à six et même sept ans dans les galeries toujours sèches ou humides; et dans celles où la sécheresse succède fréquemment à l'humidité, et l'humidité à la sécheresse, les mêmes bois ne durent que trois ans;

deux ans, et même encore moins. Mais que les bois s'y conservent plus ou moins long-temps, toujours est-il nécessaire de savoir comment on les remplace, et c'est ce que nous allons expliquer.

113. Remplacer un chapeau.

On place un faux châssis (n°. 51, fig. 12) à côté du vrai, et on fait porter ses montans, étrésillonnés vers le bas, sur des plateaux qui les empêchent d'enfoncer dans le sol. On étrésillonne aussi les montans du vrai châssis vers le haut, et on chasse des coins entre le chapeau du faux châssis et les madriers du ciel, afin que ces madriers cessent de porter sur le chapeau à remplacer. Ce chapeau peut alors s'enlever, et un neuf se mettre à sa place. Cela fait, on retire, dans l'ordre suivant, l'étrésillonnage des montans du vrai châssis, les coins qui ont soulevé les madriers du ciel, l'étrésillonnage des montans du faux châssis, et le faux châssis lui-même.

114. Remplacer un montant.

On place un faux châssis près du vrai; on en étrésillonne fortement les montans en haut, et en bas, et on chasse des coins entre les planches de coffrage et celui des montans du faux châssis qui est du côté du montant à remplacer; par ce moyen les planches de coffrage cessent d'appuyer contre ce dernier montant. On a ensuite un pointal, que les mineurs appellent *chandelle*, qui a quelque chose de plus en longueur que la hauteur dans œuvre de la galerie; on appuie une de ses extrémités sur la semelle, près du vieux montant, et à grands coups de masse on l'oblige de se dresser verticalement sous le chapeau pour le soulever : dès-lors ce chapeau ne portant plus sur le montant à remplacer, on enlève ce dernier, à la place duquel on en met un neuf. Cela fait, on

enlève successivement la chandelle, les étrésillonnages, les coins et le faux châssis.

115. Remplacer une semelle.

On étrésillonne le plus fortement possible les montans du châssis auquel appartient la semelle à remplacer, ce qui permet d'enlever cette semelle sans craindre que le châssis ne s'affaisse : on la remplace ensuite par une neuve, dont on fait porter les extrémités sur des coins mariés, que l'on serre bien pour que les entailles de la semelle joignent exactement le pied des montans. Cela fait, on presse des terres autour d'elles, et on enlève les étrésillonnages.

116. Remplacer une partie de ciel ou de coffrage.

On ne peut, dans les terrains qui manquent d'une certaine ténacité, remplacer plus d'un madrier ou plus d'une planche à la fois ; et comme la manière de remplacer une planche de coffrage peut s'apprendre par les détails du procédé pour remplacer un madrier de ciel, on se bornera ici à expliquer cette dernière.

On enlève, en masse ou par fragmens, le madrier à remplacer ; ensuite, avec la langue de bœuf on fait une ouverture assez profonde dans les terres du dessus d'un des chapeaux sur lesquels portoit le vieux madrier, pour y pouvoir introduire, d'une quantité égale à l'épaisseur réunie de deux chapeaux, une extrémité du madrier de remplacement. Cela fait et le madrier introduit dans l'ouverture, on le ramène sur l'autre chapeau de manière qu'il porte également sur tous les deux, et l'opération est terminée.

117. Pour compléter la première partie de ce traité, qui suivant notre plan doit contenir tout ce qui concerne la main d'œuvre, nous allons expliquer la manière de charger, bourrer et mettre le feu aux fourneaux.

PLANCHE IV.

SECTION XV.

Charge et bourrage.

118. LORSQU'ON se dispose à faire jouer un *fourneau*, on
Fig. 38. place dans la chambre des poudres un coffre cubique *A*, dont les dimensions sont réglées sur la quantité de poudre qu'il doit contenir. On a ensuite un *saucisson*, qui est une espèce de boudin en toile, de 0,022 mètres (10^{lignes}) de diamètre, rempli de poudre bien grenée. On introduit, de 0,20 à 0,25 mètres (8 à 9^{pouces}), un des bouts de ce saucisson dans l'intérieur du coffre, par une ouverture pratiquée au milieu de celui de ses côtés qui fait face au pailler du fourneau, et on l'y fixe au moyen d'une cheville qui le traverse de part en part, et qui s'arrête à l'ouverture qui a donné passage au saucisson. Le reste de la longueur de ce saucisson, égal à la partie du rameau à bourrer, et de 0,33 mètres (1^{pied}) environ d'excédant, se loge dans un *auget BCD*, que l'on cloue sur les semelles le long des montans d'un des côtés du rameau. Cet auget n'est d'abord formé que de trois planches de sapin de 0,025 mètres (10^{lignes}) d'épaisseur, et sa capacité intérieure n'est que suffisante pour contenir le saucisson sans le presser: dès qu'il y est logé, on recouvre l'auget avec une quatrième planche; on remplit de poudre le coffre destiné à la recevoir; on place son couvercle et on commence le bourrage.

119. Le travail de la charge exige les précautions suivantes pour se garantir des accidens du feu. Il faut s'éclairer

avec des bougies renfermées dans des lanternes semblables à celles qui servent dans les magasins à poudre; employer des marteaux de cuivre pour clouer la quatrième planche de l'auget; couvrir l'extrémité du saucisson qui saille en dehors de l'auget, avec quelques sacs à terre vides et un peu de terres sèches par-dessus; transporter la poudre de la charge dans des sacs de cuir ou de basane; et, pendant qu'on verse la poudre dans le coffre, en tenir les lumières très-éloignées, de peur que le poulevrin qui s'élève et se répand dans le rameau ne vienne s'allumer aux bougies et porter le feu aux poudres.

120. Différent du bourrage des armes à feu, qui doit céder à l'effort de la poudre enflammée, celui des mines doit résister avec avantage pour que l'effet des fourneaux se porte entièrement du côté qu'on a résolu. Mais comment est-on parvenu à assigner les limites de ce bourrage? On a eu recours aux expériences. On a fait jouer un fourneau chargé pour produire un entonnoir quelconque; on a reconstruit le fourneau aussitôt après, et on ne l'a chargé cette fois qu'à moitié de sa charge primitive. On a ensuite recomblé l'entonnoir avec les terres qui en étoient sorties, et l'effet du fourneau les a de nouveau chassées dehors, quoique chargé à demi. Qu'a-t-on dû inférer de ce résultat? que les terres vierges, du moins celles soumises à l'épreuve qu'on vient de citer, résistoient autant par leur ténacité que par leur poids; ou que, dépouillées de leur ténacité, elles ne résistoient plus qu'avec une force représentée par un, tandis qu'avec leur ténacité elles résistoient avec une force représentée par deux; que, par conséquent, si le bourrage d'un fourneau étoit uniquement composé de terre rapportée, il faudroit, pour équilibrer sa résistance

avec celle du solide de terre vierge à enlever, lui donner une longueur double de l'épaisseur de ce solide, c'est-à-dire, double de la ligne de moindre résistance du fourneau: mais que la résistance du bourrage devant l'emporter sur celle du solide à enlever, il faut l'exécuter sur une longueur plus que double de l'épaisseur de ce même solide. Toutefois l'exécution d'un pareil bourrage entraînant encore plus d'embarras que de lenteur, on chercha à l'abréger. On conjectura qu'en employant des pièces de bois dans le bourrage, et qu'en les disposant en arc-boutans et en étrésillons, on parviendroit peut-être à établir un certain équilibre entre sa solidité et la ténacité des terres à enlever. L'essai fut heureux; car il est maintenant admis que tout bourrage dans lequel il entre des pièces de bois qui le solidifient, et qui a de longueur une fois et demie la ligne de moindre résistance des fourneaux respectifs, est suffisant pour résister avec avantage à l'effet des poudres dont sont chargés ces fourneaux.

Voici maintenant la manière d'exécuter ce bourrage.

121. 1.° Lorsqu'un fourneau est situé sur le flanc d'un rameau, on en commence le bourrage avec des pièces de bois, en forme d'étrésillons, que l'on guinde entre des plateaux dressés contre le coffre des poudres et le côté opposé du rameau. Cela fait, on bourre avec des terres le premier intervalle de châssis, ainsi que les vides autour des étrésillons, et on établit ensuite un masque de pièces de bois appuyées, en travers du rameau, aux montans du second châssis. Arrivé là, on remplit avec des terres seules un espace de deux intervalles de châssis. On fait un nouveau masque de pièces de bois, et on continue de la sorte jusqu'à l'ex-

trémité du bourrage, où on établit un dernier masque, que l'on fortifie encore par des arcs-boutans guindés contre les montans du châssis qui soutient ce dernier masque.

2.° Lorsqu'un fourneau est situé à l'extrémité d'un rameau, on dresse des plateaux contre le coffre des poudres, et on remplit avec des bois, posés en travers du rameau et fortement guindés, le premier intérvalle de châssis. On bourre ensuite avec des terres seules le second intervalle de châssis, et on continue le bourrage comme dans le cas précédent.

3.° Lorsqu'il s'agit de bourrer un rameau à la hollandoise, un rameau en maçonnerie, ou un rameau non étayé, on guinde d'abord des étrésillons entre le coffre des poudres et le côté opposé du rameau, si le fourneau est situé sur un de ses flancs; ou bien, si le fourneau est situé à l'extrémité, on remplit avec des bois posés et fortement guindés en travers du rameau, un espace d'environ un mètre (3^{pieds}). Cela fait, on bourre avec des terres seules un intervalle d'un à 1,5 mètres (3 à 4^{pieds}), et on continue le bourrage en faisant alternativement des masques en bois d'un mètre (3^{pieds}) et des remplissages en terre d'un à 1,5 mètres (3 à 4^{pieds}).

On doit avoir soin, pendant le travail du bourrage, de ne pas écraser ou déranger l'auget qui renferme le saucisson.

122. Lorsqu'un dernier retour de rameau n'a pas la longueur que doit avoir le bourrage, ce qui arrive quand il n'a pas une fois et demie la ligne de moindre résistance du fourneau à faire jouer, il faut étendre le bourrage dans le rameau suivant, d'une quantité telle que la distance directe de l'extrémité du bourrage au centre du fourneau soit égale à une fois et demie la ligne de moindre résistance de ce même fourneau.

PLANCHE IV. *Fig.* 39.

Soit, par exemple, le fourneau A, supposé de 3,25 mètres (10^{pieds}) de ligne de moindre résistance, et situé à l'extrémité du rameau BC, supposé aussi de 3,25 mètres (10^{pieds}) de longueur. Comme la ligne AX doit avoir 4,875 mètres (15^{pieds}), c'est-à-dire, une fois et demie la ligne de moindre résistance du fourneau A; il faut par conséquent bourrer le rameau BC en entier, et continuer le bourrage dans le rameau CD d'une quantité encore inconnue CX. Voici comment on parvient à connoître cette quantité. L'angle que forment les deux rameaux BC et CD étant droit, ces deux rameaux et la ligne AX forment un triangle rectangle. Or, comme on connoît la longueur du rameau BC et celle qu'on veut donner à la ligne AX, cette connoissance conduit à celle de la longueur de la partie CX du rameau CD; car, suivant une des propriétés du triangle rectangle, $CX = \sqrt{AX^2 - BC^2}$. Ainsi, puisque AX doit avoir 4,875 mètres (15^{pieds}), et que BC a 3,25 mètres (10^{pieds}), CX aura un peu plus de 3,60 mètres (11^{pieds}). On portera donc ces 3,60 mètres (11^{pieds}) du point C en X, et on arrêtera le bourrage à ce dernier point.

On peut encore déterminer le point X d'une manière graphique sur la figure même. Pour cela, prenez sur l'échelle une ouverture de compas égale à 4,875 mètres (15^{pieds}), ou à une fois et demie la ligne de moindre résistance du fourneau A; posez ensuite une des pointes du compas au centre de ce fourneau, et décrivez l'arc de cercle EXF: le point X où cet arc coupera la ligne passant par le milieu de la largeur du rameau CD, sera celui où devra s'arrêter le bourrage. Cette méthode, plus expéditive que la précédente, lui est encore préférable en ce qu'elle s'applique au cas où les deux rameaux BC et CD ne formeroient pas entre eux un angle droit.

123. Autrefois on bourroit soigneusement le vide qui se trouve au-dessus du couvercle du coffre des poudres; on le remplissoit de bois ou de gazons : mais comme on a expérimenté depuis peu que de plus grands vides, ménagés à dessein autour du foyer des poudres, ne diminuoient en rien l'effet des fourneaux, que peut-être même cet effet en étoit augmenté; on néglige aujourd'hui de remplir le vide en question.

124. Les bois dont on se sert dans le bourrage des mines peuvent être tout simplement des bûches.

125. A la guerre, où le temps est toujours plus précieux que les matériaux, où l'on doit par conséquent tout sacrifier à la vîtesse, on emploie des sacs à terre pleins pour bourrer les espaces entre les bois : mais lorsqu'on n'est pas aussi pressé, on se contente de transporter les terres dans des sacs ou des paniers, que l'on vide à mesure dans le rameau qu'on bourre.

SECTION XVI.

Manière de mettre le feu aux poudres.

126. On connoît trois manières de mettre le feu aux mines. Les deux premières s'exécutent par l'entremise du saucisson, dont il est parlé n.° 118; l'autre exclut le saucisson. Nous allons les détailler successivement toutes les trois, exposer les motifs qui ont donné lieu aux deux dernières, et indiquer les circonstances où l'on doit préférer l'emploi de l'une à celui des autres.

127. Première manière : le bourrage étant achevé, on

PLANCHE IV. crève, sur une longueur de trois à quatre doigts, le bout du saucisson qui saille en dehors de l'auget, et on y ajoute un peu de poudre pour former une amorce. On adapte ensuite à cette amorce un moine semblable à celui décrit n.° 108, et on y met le feu avec une pyramide d'amadou allumée, pareille à celle du moine. On se retire alors en emportant avec soi cette pyramide d'amadou, qu'on nomme *témoin* et qui indique, en se consumant, l'instant où le feu du moine se communiquera à l'amorce, au saucisson et au fourneau.

Cette manière est fort simple et n'entraîne véritablement aucun danger; mais elle a un inconvénient: le moine peut s'eteindre par l'effet de l'humidité du lieu ou le défaut d'air, et cet inconvénient, dont on a souvent éprouvé les mauvais effets, a fait imaginer à un ancien capitaine de mineurs, nommé Boules, le moyen suivant.

128. Deuxième manière. On construit avec des planches
Fig. 40. de 0,025 mètres (10^{lignes}) d'épaisseur, une boîte de 0,15 mètres (5^{pouces}) de côté intérieur à la base, et de 0,5 mètres (18^{pouces}) de hauteur. Son ouverture inférieure est fermée par un plateau qui la déborde de quelque chose, et qui d'ailleurs est assez lourd et épais pour donner une assiette solide à la boîte quand elle est en place. A environ 0,16 mètres (6^{pouces}) de son ouverture supérieure est une coupure horizontale, faite dans trois des quatres planches qui la composent, laquelle sert à recevoir une planchette, ou espèce de tiroir bien uni, un peu plus longue et plus large que la boîte dans le sens de sa base. Cette planchette-tiroir doit entrer dans la coupure et en sortir sans effort. Au bas de la boîte, et dans celle de ses planches qui doit faire face au bourrage, est un trou pratiqué pour donner passage au

saucisson. Voilà l'appareil du capitaine Boules, qu'on nomme *boîte à feu* à cause de son usage ; *boîte à tiroir* à cause de sa construction, et *boîte de Boules*, du nom de son inventeur. Voici maintenant la manière de l'employer.

On place cette boîte de façon que le saucisson qui déborde le bourrage y puisse entrer d'environ 0,15 mètres (5^{pouces}) ; et si le plateau ne lui donne pas assez d'assiette, on l'assujettit davantage en chargeant ses rebords de quelques pierres. On crève le saucisson comme à la manière précédente ; on l'introduit dans l'intérieur de la boîte par l'ouverture pratiquée à cet effet, et on y ajoute de la poudre écrasée (ceci est de rigueur) pour servir d'amorce. On a ensuite une espèce d'étoile formée de trois à quatre brins de mèche bien saine, de 0,11 mètres (4^{pouces}) de longueur, dont on allume les six ou huit bouts, qui, à raison de leur divergence en tous sens, ne peuvent manquer, les uns ou les autres, de porter plusieurs à la fois sur le plan où tombe l'étoile. Cette étoile allumée se pose sur la planchette-tiroir, à laquelle est attachée une ficelle mince et souple, qui se prolonge jusqu'à un endroit sûr pour le mineur chargé de faire feu. Au signal donné, le mineur, par un mouvement brusque, tire la ficelle à lui ; la planchette sort, et l'étoile, tombant sur la poudre écrasée de l'amorce, y met le feu, qui de là est conduit par le saucisson au foyer du fourneau.

Cette manière n'a pas l'inconvénient que l'on reproche au moine ; mais elle en partage un autre avec lui, dû au saucisson qui sert d'intermède pour porter le feu aux poudres de la charge. Nous parlerons tout à l'heure de cet inconvénient, après avoir indiqué les précautions qu'exige

la boîte de Boules, tant pour en rendre le succès plus certain que pour éviter les accidens et les contrariétés qui en accompagnent l'usage.

1.° Afin qu'aucune particule de poulevrin ne s'attache aux parois de la boîte, au-dessus de la coupure qui doit recevoir la planchette, ce qui exposeroit à un grand danger le mineur chargé de placer l'étoile; on ne doit pas mettre l'amorce par l'ouverture supérieure de la boîte, mais par une autre ouverture pratiquée à cet effet près du plateau, laquelle s'ouvre et se ferme au moyen d'une coulisse faite exprès.

2.° Afin que l'étoile ne puisse sauter hors de la boîte lorsqu'on tire brusquement la ficelle, on a l'attention d'en couvrir le dessus, de manière cependant qu'il y entre assez d'air pour que son action entretienne la combustion de l'étoile. On ajoute donc une planchette sur l'ouverture supérieure de la boîte, à laquelle on la fixe par un seul clou foiblement chassé; et cette planchette, qui peut tourner autour de ce clou, permet de tenir la boîte assez ouverte pour y laisser pénétrer l'air, et pas assez pour que l'étoile en puisse sortir.

3.° Afin qu'aucun obstacle n'empêche la ficelle d'obéir quand on la tire à soi, et que le mineur qui a porté l'étoile ne s'embarrasse pas à son retour dans cette même ficelle, deux inconvéniens qui pourroient arriver si on la laissoit traîner négligemment le long des rameaux, il faut, ou ficher des pitons dans quelques montans, ou planter de distances à autres, près des montans, des piquets percés d'un trou, pour recevoir et soutenir la ficelle jusqu'à l'endroit d'où on peut la tirer sans risque.

4.° Le motif qui a fait dire, en parlant de l'amorce de la boîte-à-feu, qu'il étoit de rigueur qu'elle fût de poudre

écrasée, c'est que sur dix fois qu'on négligeroit de l'amorcer avec du poulevrin, il n'arriveroit peut-être pas deux fois que l'étoile, quelque bien allumée qu'elle fût, mît le feu à l'amorce. Cette assertion est fondée sur l'expérience et sur l'exemple du canonnier, qui écrase de la poudre sur la lumière de son canon quand il y met le feu avec une mèche.

129. La boîte de Boules, plus sûre que le moine, a comme lui l'inconvénient attaché à l'emploi du saucisson, celui de souffler dans le rameau toute la fumée que ce saucisson peut produire : cet inconvénient est le plus grave de tous ceux qui contrarient le mineur dans la pratique de son art. En effet, cette fumée, jointe à celle des amorces, se répand dans les galeries, où le mineur a le plus d'intérêt de pénétrer après les explosions, et les rend inhabitables pendant plus ou moins de temps, suivant que les moyens d'évacuation y sont plus ou moins actifs. Ces moyens d'évacuation sont ou naturels ou artificiels. Les naturels sont les courans d'air résultant de la disposition bien entendue des galeries et des rameaux; et les artificiels sont les ventilateurs et les gros soufflets de forge (qui valent autant et sont plus commodes), que l'on établit le plus avantageusement possible à portée des galeries infectées, pour y porter de l'air frais à l'aide de tuyaux de fer blanc ou de cuir. Ces moyens sont bons, sans doute; cependant, ils ne remédient qu'imparfaitement aux inconvéniens de la fumée, et ne sont propres qu'à abréger la durée de l'interruption de travail et de surveillance, que la fumée a occasionée dans les galeries où elle s'est répandue : il a donc été naturel de penser qu'on pourroit leur substituer quelque moyen plus efficace, par lequel on parviendroit peut-être à se garantir entièrement

PLANCHE IV. de cette fumée. Les recherches ne furent point sans succès. Le général Rugy, ancien commandant des mineurs, imagina de porter le feu à travers du bourrage sans l'entremise du saucisson, et il réussit. Voici la description de l'appareil qu'exige son procédé, et qu'on peut nommer *souris porte-feu.*

130. Troisième manière. La souris porte-feu est composée d'une chaînette de 0,4 mètres (15 pouces) environ de longueur, à chaque extrémité de laquelle s'attache un cordeau bien souple, d'une longueur plus que double de celle du bourrage. Sur le pourtour du milieu de la chaînette, et sur une longueur d'environ 0,08 mètres (3 pouces), se roule de la mèche décordée, assez serrée pour ne pas se consumer trop vîte, et d'un diamètre de 0,03 mètres (1 pouce). Pour s'en servir, on

Fig. 41. a un auget *a b c d e f g*, d'une capacité intérieure suffisante pour que le rouleau de mèche qui doit le parcourir n'y éprouve pas un frottement capable de l'éteindre, et dont la partie *g* à hauteur du fourneau, ainsi que les portions *b* et *e*, sont arrondies, comme on le voit à la figure. Ses deux branches *a b c* et *d e f* s'appuient sur les semelles, près des montans, de chaque côté du rameau. Quand il est en place, on y loge un des cordeaux attenant à la chaînette, de manière que celle-ci demeure en dehors, près d'une des extrémités de l'auget. On recouvre ensuite cet auget, après avoir toutefois rempli le coffre de poudre, et répandu du poulevrin dans l'auget en face du coffre, pour former une amorce qui soit en communication avec la charge du fourneau, au moyen de deux ouvertures correspondantes faites au coffre et à l'auget. Cela fait, on travaille au bourrage, qui s'exécute à l'ordinaire. Dès qu'on veut mettre le feu au fourneau, on allume bien la souris ou le rouleau de mèche, et

un mineur placé en x tire à soi le cordeau ; la souris parcourt l'auget, passe sur le poulevrin de l'amorce, l'enflamme, et l'explosion du fourneau suit.

Il est certain que cette manière de mettre le feu aux fourneaux, excluant le saucisson, garantit de toute fumée; car on peut immédiatement après l'explosion se porter à l'extrémité du bourrage pour boucher l'orifice de l'auget avec des sacs à terre ou des gazons mouillés, et par cette précaution empêcher le peu de fumée qui reste enfermée au fond de l'entonnoir, de dégorger par l'auget dans les rameaux. Sous ce rapport la souris porte-feu est donc préférable au moine et à la boîte de Boules; mais elle a aussi son inconvénient: elle exige des augets travaillés avec autant de soins que la plus belle menuiserie, et malgré cela elle peut encore manquer son effet. Il en est plusieurs fois arrivé ainsi à Verdun, quoique là on eût le temps et les moyens de blanchir intérieurement les augets à la Varloppe, et de les assembler bien jointivement pour qu'aucun obstacle n'empêchât la souris de parvenir sur l'amorce. Il a peut-être été juste d'attribuer ce mauvais succès aux mineurs chargés de l'arrangement des augets et du travail du bourrage; mais quelle qu'en fût la cause, ce résultat pouvant se renouveler dans des circonstances intéressantes, il ne nous paroît pas prudent d'employer la souris dans tous les cas, surtout devant l'ennemi. C'est en vain d'ailleurs qu'au moyen d'un second cordeau qui suit la souris on voudroit la retirer quand elle s'arrête, et renouveler les tentatives pour la faire avancer: l'objet de ce second cordeau prouve lui-même que, quelle que soit la perfection donnée aux augets, la souris porte-feu a le vice qu'on lui reproche, celui de ne pas réussir toujours.

Cependant son usage n'est point à rejeter lorsqu'il s'agit de porter le feu à travers un bourrage qui ne fait point de coude ; car alors, si on a pu se procurer des augets bien jointifs, le cordeau n'éprouvera point d'obstacle, et la souris parviendra aisément et promptement sur l'amorce, à laquelle elle ne manquera pas de mettre le feu : mais voilà peut-être le seul cas où on puisse l'employer avec la certitude de réussir. On peut dans ce même cas en assurer le succès, en substituant un bout de lance-à-feu, de longueur convenable, au rouleau de mèche, et en faisant entrer ce nouveau porte-feu par le bout allumé. Un premier et unique essai de cette lance a été fait en notre présence, l'an 8, à Metz, et il a parfaitement réussi. [a] La seule précaution qu'il faille prendre, c'est d'employer une chaînette d'une longueur environ double de celle du général Rugy, et d'y fixer le bout de lance avec du fil d'archal.

131. De l'exposé des avantages et des désavantages de ces trois manières, nous concluons :

1.° Que la méthode du moine est bonne quand il y a de l'air et peu d'humidité dans les mines ;

2.° Que la boîte de Boules est préférable au moine quand les mines sont privées d'air ou humides ;

3.° Que le moine et la boîte de Boules, plus sûrs que la souris, doivent être employés de préférence, quand le bourrage est coudé ;

4.° Que la souris, soit de mèche, soit de lance-à-feu, ne peut être d'usage que quand il s'agit de lui faire traverser

---

a. M. Rittiez, commandant la quatrième compagnie de mineurs, est le premier officier qui ait proposé la lance-à-feu pour cet usage.

un bourrage sans coude, et qu'en outre on a des augets bien jointifs, ou le temps et les moyens d'en faire.

5.° Enfin, que le moyen d'empêcher la fumée de se répandre dans les galeries n'est pas encore trouvé d'une manière absolue, et qu'on n'a jusqu'à présent, pour évacuer celle dont on ne peut se garantir, que la ressource bien lente des courans d'air naturels, ou celle bien laborieuse des ventilateurs et des gros soufflets de forge.

SECTION XVII.

Des compassemens des feux.

132. On entend par compassement de feux l'arrangement qu'on donne aux augets, afin que plusieurs fourneaux réunis dans la même explosion prennent tous feu au même instant.

133. Les figures 42, 43, 44 et 45, représentent le compassement de feux pour deux, trois et quatre fourneaux devant jouer ensemble. Le point *a* est un foyer commun d'où le feu se distribue pour aller à tous les fourneaux; et afin qu'il arrive à tous en même temps, la longueur développée du saucisson qui va du point *a* à chaque fourneau, est la même pour les uns et pour les autres.

134. Le feu peut être porté au foyer commun par l'entremise du saucisson ou de la souris; mais il ne peut être communiqué du foyer commun aux fourneaux qu'au moyen du saucisson.

135. Tous les compassemens de feux qu'on est dans le

cas de faire ne sont pas aussi simples que ceux dont nous venons de parler; mais les plus composés ou les plus difficiles leur étant analogues, il est inutile d'en multiplier les exemples. Observons seulement que quand il y a, dans la longueur développée des saucissons, plus de coudes d'un côté que d'un autre, chaque coude excédant se compte pour 0,08 mètres (3^{pouces}) de saucisson, parce que le feu, arrivé à un coude, perd pour un instant un peu de la vélocité qu'il a en suivant la ligne droite. On doit donc raccourcir celui des saucissons qui a le plus de coudes, d'autant de fois 0,08 mètres (3^{pouces}) qu'il contient de coudes de plus que son correspondant. Cette remarque paroîtra peut-être minutieuse, mais elle est fondée. En effet, si de deux fourneaux devant jouer ensemble l'un partoit avant l'autre, il pourroit arriver, ou que le jeu du premier coupât le feu du second, ou que, quoique celui-ci partît, son effet se portât en grande partie du côté de son voisin, et ne s'étendît pas de tout autre côté autant qu'on le désiroit. Ainsi, une exactitude rigoureuse dans les compassemens de feux les plus simples étant aussi nécessaire, elle doit l'être encore plus quand il s'agit, comme il arrive dans les démolitions, de faire sauter à la fois vingt à trente fourneaux qui n'ont qu'un foyer commun; car, dans ces explosions compliquées, un seul fourneau jouant avant les autres, couperoit le feu de plusieurs de ses voisins: d'où l'on voit que la moindre négligence peut entraîner des doubles façons, coûteuses pour l'état et infiniment désagréables pour celui qui dirige le travail.

FIN DE LA PREMIÈRE PARTIE.

SECONDE PARTIE.

USAGES ET EFFETS DES MINES.

SECTION PREMIERE.

Idée de l'art du mineur.

136. L'INSUFFISANCE de l'artillerie dans certains cas a donné naissance à l'art du mineur. C'est l'impossibilité de pouvoir toujours faire brèche avec le canon, qui a donné aux assiégeans l'idée d'ouvrir les places par le moyen des mines; et c'est la facile et rapide extinction des feux des remparts, par le tir à ricochet, qui a fait imaginer aux assiégés la ressource des feux souterrains.

Un fossé profond et étroit ne permettant pas à l'artilleur de découvrir, de l'emplacement de sa batterie, tous les points de l'escarpe qu'il faut battre pour y faire une brèche praticable, on a dû songer à renverser les murailles autrement qu'avec le canon. On a donc exécuté la descente et le passage du fossé; on a *attaché* le mineur : celui-ci a percé le revêtement, s'est jeté à droite et à gauche, a fait des logemens pour recevoir de la poudre, y a mis le feu, et l'explosion a produit une brèche. Voilà le premier usage des mines. [5]

Depuis le commencement du seizième siècle jusque vers la fin du dix-septième, le mineur assiégeant a été en pos-

session de préparer la voie des assauts, non-seulement lorsque l'artilleur ne pouvoit le faire, mais souvent encore quand il le pouvoit. Pendant le même espace de temps les mines offensives consistèrent en des galeries d'escarpe destinées à contrarier les desseins du mineur ennemi. Ces galeries régnant parallèlement aux faces des ouvrages menacés, et le plus près possible des revêtemens, ou dans les revêtemens mêmes, le mineur assiégé n'avoit que peu de chemin à faire pour se porter au devant du mineur assiégeant, l'arrêter dans sa marche, l'étouffer dans son rameau, ou tâcher d'éventer sa mine à temps quand il n'avoit pu en empêcher l'exécution.

Enfin, l'invention du tir à ricochet ayant donné à l'attaque une grande supériorité sur la défense, et les derniers travaux de l'assiégeant ne pouvant plus être retardés que par des sorties toujours trop meurtrières pour l'assiégé, les mines défensives s'agrandirent et se portèrent peu à peu sous les cheminemens et les positions de l'ennemi, c'est-à-dire sous ses têtes de sape, ses cavaliers de tranchée, ses batteries de pierriers, de contre-flancs et de brèche.

Dès ce moment les mines d'attaque changèrent d'objet: l'assiégeant les employa, comme l'assiégé avoit d'abord employé les siennes, à rendre vaines celles de son ennemi, en cherchant à s'en rendre maître ou à les éventer. De là naquit ce qu'on appelle la *guerre souterraine*, dans laquelle l'assiégeant obtiendroit difficilement un succès si Bélidor n'avoit imaginé un moyen qui a fait perdre aux mines défensives quelque chose de leur valeur. Ce nouveau moyen est le *globe de compression* [6], ou *fourneau surchargé*, dont l'effet intérieur, d'après l'expérience, opère à de grandes

distances le renversement et la destruction des galeries de l'assiégé.

Malgré cela, les mines appliquées à la défense sont ce qu'on connoît de plus puissant pour retarder la reddition des places : elles sont autant de volcans disposés sous le terrain que doit parcourir l'ennemi ; elles provoquent et favorisent les sorties de l'assiégé ; elles désolent l'assiégeant, le fatiguent au physique, l'intimident au moral, et, en le forçant d'opposer mineurs à mineurs, elles prolongent, elles éternisent la durée des siéges. Tels sont leurs effets réels et d'opinion. Mais on conçoit que, pour obtenir ces effets, il faut que celui qui dispose les mines en avant des fronts qu'elles *doivent* défendre, connoisse le grand art de l'attaque et de la défense des places. L'art du mineur est donc le même que celui de l'ingénieur, l'art d'apprécier le fort et le foible des forteresses ; de savoir, quelles qu'elles soient, les expugner ou les défendre ; de juger si elles comportent ou non l'application de la défense souterraine, et quand elles en sont susceptibles, de la raisonner sur les ressources de la défense extérieure et sur tous les moyens possibles d'attaque.

Après cet exposé rapide de ce qu'ont été, de ce que sont ou doivent être les mines considérées dans leur ensemble, nous allons examiner, un peu moins succinctement, dans les deux sections suivantes, les propriétés de chacune de leurs parties considérées isolément.

SECTION II.

Usages et position des principales galeries des mines défensives.

PLANCHE V. *Fig.* 46.

137. DE tous les systèmes de mines défensives exécutés ou proposés jusqu'à présent en France, ceux *A*, *B* et *C*, contiennent les différences les plus remarquables dans la position de leurs principales galeries, et sont par cette raison les plus propres à nous fournir la matière de cette section. Celui *A* est nommé système à enveloppe : ceux *B* et *C* sont dus, le premier, au général Rugy, et le second, au major du génie Mouzé.

138. Nous allons commencer notre examen par la galerie de contrescarpe, qui, comme fondement de tous les systèmes, est généralement admise, et n'a donné lieu aux discussions que par rapport aux diverses positions qu'on lui fait occuper. Cette galerie, dont la destination spéciale est de servir de point de départ pour se porter sous l'emplacement des batteries de contre-flancs et de brèche, se place sous le milieu de la largeur du terre-plein du chemin couvert, règne sous la banquette, ou s'adosse à la contrescarpe. Le vice qu'on a reconnu à la première de ces positions est si grand qu'elle n'a plus de partisans aujourd'hui, et qu'on ne devroit en parler ici que pour en faire une simple mention. Disons cependant que lorsque l'assiégeant se loge de vive force dans le chemin couvert, ce qui doit toujours arriver quand le front peut être battu à ricochet, la galerie

de contrescarpe ainsi placée se trouve trop voisine du logement de l'ennemi pour permettre de le culbuter autrement qu'en la faisant sauter elle-même ; et que l'assiégeant, que l'on doit toujours supposer instruit de la position des principales galeries défensives, ayant le plus grand intérêt de détruire celle de ces galeries dont l'existence oppose seule des obstacles à l'établissement de ses batteries de brèche, il ne sera pas plus tôt maître du chemin couvert, qu'il sera en mesure d'écraser cette galerie (par des moyens dont on parlera dans la suite de cet ouvrage), à moins toutefois que l'assiégé, si on lui en laisse le temps, ne la culbute lui-même, seul moyen qui lui reste de nuire à son ennemi. Ainsi donc, la destruction de la galerie placée sous le milieu *du terre-plein* du chemin couvert étant également prompte et certaine dans l'une et l'autre hypothèse, ce n'est pas sans raison que les plus habiles mineurs ont unanimement rejeté cette position pour adopter une des deux autres.

139. Ceux qui sont pour la galerie placée sous la banquette disent à son avantage, que cette position la dérobe à la rencontre de l'assiégeant lorsqu'il fait sa descente de fossé ; au lieu que celle adossée à la contrescarpe étant rencontrée et détruite par ce seul fait, il en résulte l'anéantissement des dernières ressources souterraines de l'assiégé sous le chemin couvert et le glacis.

Ceux qui tiennent pour la galerie adossée à la contrescarpe, répondent qu'à la vérité cette galerie sera rencontrée comme on le dit ; mais qu'auparavant elle aura rendu plus de services que celle placée sous la banquette, en ce qu'elle n'est pas, comme cette dernière, exposée à être aussi prochainement détruite par l'assiégeant, qui, lorsqu'il se dispose

à couronner le chemin couvert, fait toujours précéder ce travail par celui de ses mineurs.

140. Il est incontestable que la meilleure des deux galeries est celle qui peut retarder davantage la réduction de la place, ou qui, en d'autres termes, peut le plus long-temps et le plus efficacement empêcher l'établissement des batteries de brèche. Or, comme l'assiégeant ne peut espérer faire feu de ces batteries, ni exécuter sa descente de fossé, s'il n'a préalablement détruit la galerie de contrescarpe, quelle qu'en soit la position; comme il ne doit entreprendre la construction de ces mêmes batteries qu'après avoir rendu le dessous de leur emplacement inaccessible au mineur assiégé; comme la galerie adossée à la contrescarpe est le plus éloignée possible des points d'où l'ennemi part pour la combattre et la détruire: il en résulte qu'elle oppose plus d'obstacles à la marche de l'assaillant, et le force à sacrifier plus de temps à l'œuvre de sa destruction. Sous ce rapport cette galerie est déjà préférable à l'autre: on peut encore ajouter que sa construction est moins coûteuse, puisque la contrescarpe épargne un des pieds-droits, et que les portions situées aux arrondissemens ayant des dimensions convenables, elles peuvent servir de casemates; ce qui n'est pas un petit avantage.

141. Tout ce que nous venons de dire en faveur de la galerie adossée à la contrescarpe est sans doute irréfutable: mais sa destruction, quand l'assiégeant parvient enfin à l'opérer, pouvant entraîner simultanément le renversement de la contrescarpe même, on voit que cet inconvénient balance bien l'avantage de pouvoir disputer plus long-temps à l'ennemi les approches de la crête du glacis et du chemin couvert; car le renversement de quelques portions de la

contrescarpe le dispense d'exécuter sa descente de fossé par les moyens ordinaires. Nous devons donc conclure que, les avantages et les désavantages des deux positions de la galerie de contrescarpe étant en compensation, il n'y auroit point de motif assez déterminant pour adopter ou exclure l'une plutôt que l'autre, si la considération de l'économie et celle de l'utilité des casemates ne militoient en faveur de la galerie adossée.

142. Passons aux galeries d'enveloppe. Ces galeries, situées sous les glacis, parallèlement et à plus ou moins de distance des branches du chemin couvert, ont pour objet, quand elles règnent à vingt ou vingt-quatre mètres (10 à 12 toises) de la palissade, de pousser des rameaux sous l'emplacement des batteries de brèche, de concert avec la galerie de contrescarpe: leur utilité ne répond point à la dépense qu'elles occasionnent. En effet, l'assiégeant ayant intérêt, avant d'aller s'établir sur la crête des glacis, de ne rien laisser derrière lui qui puisse l'inquiéter; et connoissant, comme cela arrive toujours, la position des principales galeries de l'assiégé, il doit mettre tous ses soins à détruire l'enveloppe: et voici comment il peut se conduire pour faciliter et hâter sa destruction. (Voyez le système *A* de la figure.) Au lieu des attaques que l'on voit au demi-front de droite, il fera celles que représente le demi-front de gauche, c'est-à-dire qu'au lieu de cheminer en zigzags sur les capitales, il poussera des sapes doubles qui leur soient parallèles, et dirigées, s'il se peut, sur les galeries d'écoute. Arrivé aux points *D*, il exécutera les boyaux *G*, lesquels auront le double but de protéger le travail de sa dernière parallèle quand il en sera temps, et de servir de points de départ à ses mineurs pour de là se diriger sur

l'enveloppe et l'écraser par des globes de compression. Dès que les globes auront joué, il projettera sa parallèle en sape double, fréquemment traversée, sur l'enveloppe même, en partant des points d'intersection de cette enveloppe avec les transversales des saillans; et par ce moyen, les globes n'eussent-ils pas culbuté l'enveloppe, il ne restera à l'assiégé que la ressource de la faire sauter lui-même s'il veut nuire à l'établissement de la parallèle en question, et prévenir les nouveaux efforts de l'ennemi pour la détruire. Il est évident que de cette manière la galerie d'enveloppe sera aisément et promptement culbutée, et qu'avec elle tomberont toutes les dispositions de fourneaux auxquelles elle sert de base.

Les enveloppes se construisent encore dans l'objet de s'opposer au développement de la dernière parallèle, et alors, au lieu d'une seule enveloppe, on en fait deux, disposées de manière que la position présumée de la parallèle se trouve entre les deux enveloppes. Cette disposition, quoique beaucoup plus dispendieuse que la première, ne vaut cependant pas mieux. L'assiégeant, toujours prévenu de la position des principales galeries, ne suit pas strictement la marche que lui trace si gratuitement l'assiégé; il évite une des deux enveloppes, dirige sa parallèle sur l'autre, l'écrase par des globes de compression, les rend ainsi inutiles toutes deux, et parvient sur la crête du glacis sans avoir eu à souffrir ni des enveloppes ni de leurs fourneaux. Ajoutez que les enveloppes prêtant le flanc aux globes de compression, dont l'assiégeant ne manque jamais de faire usage pour favoriser et assurer sa marche, elles sont plus en prise à leurs effets que des galeries qui leur présenteroient des pointes (voyez la Section XI); ainsi, la marche des attaques ne pouvant

être assujettie à des règles invariables et ne se conformant pas aux présomptions de l'assiégé, et les galeries qui se présentent en flanc aux effets des globes de compression pouvant être détruites de fort loin, de 20 à 25 mètres (10 à 13 toises), par exemple, par des fourneaux surchargés, de 5 à 6,5 mètres (16 à 20 pieds) de ligne de moindre résistance, il résulte que les enveloppes, proscrites par quelques anciens mineurs, l'ont été justement par tous ceux de nos jours.

143. Les galeries d'écoute en avant des saillans peuvent être disposées parallèlement aux capitales, ou régner sous les capitales mêmes: dans le premier cas, il y a deux écoutes pour la défense de chaque saillant; dans le second, il n'y en a qu'une.

Ceux qui veulent deux écoutes entre lesquelles s'établissent les fourneaux destinés à contrarier la marche des têtes de sape, disent que ces deux écoutes, liées par des transversales comme au système *A*, ou disposées comme au système *B*, produisent dans ces galeries un courant d'air qui permet de les pousser très-avant vers la campagne, et par conséquent de commencer la défense souterraine de plus loin qu'avec une seule écoute, qui ne peut avoir de courant d'air.

Ceux qui ne veulent qu'une écoute, comme au système *C*, prétendent que l'assiégeant n'est point assujetti à cheminer en zigzags sur les capitales; qu'il peut s'en écarter de seize à vingt-quatre mètres (8 à 12 toises), et y cheminer en sapes doubles; qu'en profitant de cette faculté il peut, comme on le voit à la partie gauche du système *A*, diriger ces sapes sur les écoutes, et les détruire aisément, à moins que l'assiégé ne les fasse sauter lui-même; qu'ainsi d'une façon ou

l'autre l'effet des fourneaux établis entre elles est nul. Ils concluent, en conséquence, que ce défaut n'est pas suffisamment compensé par l'avantage de pouvoir commencer la défense souterraine de plus loin qu'avec une seule écoute, qui manque de courant d'air à la vérité, mais qui, étant entourée de fourneaux, est mieux défendue contre les fouilles du mineur ennemi, et ne peut être sérieusement attaquée par lui sans lui avoir fait essuyer ses feux.

Il résulte de cette discussion que les deux dispositions d'écoutes, dont nous parlons, ont chacune un défaut : mais ne peut-on le corriger? Puisque l'assiégeant ne peut, dit-on, s'écarter que de seize à vingt-quatre mètres (8 à 12 toises) des capitales, ne peut-on pas en éloigner les écoutes de trente-six (18 toises) ou même de quarante mètres (21 toises), comme on l'a fait à *S*...? et puisqu'il est vrai qu'une seule écoute manque d'air lorsqu'elle est poussée un peu loin, ne peut-on pas y remédier, ainsi que l'a proposé le major Mouzé, en faisant deux écoutes en capitales, adossées l'une à l'autre, de sorte qu'elles auroient un pied-droit commun, crénelé de distance à autre pour y faire jouer l'air? Il semble qu'alors les deux dispositions d'écoute, corrigées ainsi, n'auroient plus les défauts qu'on leur reprochoit, et qu'on pourroit adopter l'une ou l'autre suivant le besoin et les circonstances.

144. La galerie d'escarpe a deux objets d'utilité. Le premier est de porter des fourneaux sous les fossés secs pour enlever les décombres des brèches, quand elles sont faites, les escarper de nouveau, et obliger l'ennemi à les recommencer. Le second objet est de porter d'autres fourneaux sous les logemens de l'ennemi sur les brèches, pour les lui disputer, lui en rendre le séjour dangereux, et le

déconcerter au moment où il pense pouvoir livrer l'assaut. Cette galerie, pour bien remplir ses deux destinations, doit régner à environ douze mètres (6^toises) du parement intérieur de l'escarpe, et son sol être tel, par rapport aux fourneaux à faire sous les décombres et les logemens, qu'il ne faille pas trop descendre pour arriver à l'emplacement des uns, ni trop monter pour gagner celui des autres. [8]

145. Il reste à parler des communications, dont nous dirons d'abord en principe qu'on ne peut trop multiplier les issues dans les fossés. Leur position la plus sûre et la plus ordinaire est au milieu et aux extrémités des arrondissemens des contrescarpes, ainsi que sous les capitales et les banquettes des traverses des places d'armes rentrantes. Lorsque la nature du terrain le permet, c'est-à-dire lorsqu'on peut s'approfondir de 3 à 3,5 mètres (9 à 10^pieds) en contre-bas du fond des fossés sans trouver l'eau, on en établit encore qui passent sous ces fossés, comme on en voit au système *C*; et celles-ci sont les meilleures et les plus utiles à la fin d'un siége, époque à laquelle toutes les autres deviennent d'un difficile accès pour l'assiégé, et sont masqués de crainte de surprise de la part de l'assiégeant.

146. Pour donner une première idée de l'usage des galeries principales des mines défensives, nous avons jugé convenable de les considérer d'abord dépouillées de l'appareil des rameaux et des fourneaux auxquels elles servent d'avenues. Considérons-les maintenant accompagnées de cet appareil; et comme la galerie dite d'enveloppe n'est plus estimée comme un bon moyen de défense souterraine, laissons de côté le système *A*, et continuons nos explications en nous servant des systèmes *B* et *C* seulement.

SECTION III.

Idée et différence des systèmes de Rugy et de Mouzé.

147. Tout système de défense souterraine proposé comme projet général, c'est-à-dire sans avoir en vue un front particulier de place, doit renfermer tout ce que l'art peut mettre en œuvre pour le rendre fort sans complication, et simple sans foiblesse. Trois choses principales constituent la bonté d'un système de mines défensives. 1.° Il faut qu'il puisse se prêter à toutes les modifications qu'exigent les diverses localités; 2.° que de toutes les parties qui le composent les unes soient tellement indépendantes des autres que si l'on vouloit, par un motif quelconque, n'en exécuter que quelques-unes, l'ensemble pour cela n'en fût pas rompu; et 3.° qu'il convienne à tous les genres d'attaque adoptés par l'ennemi. Ces conditions, pour être difficiles à remplir, ne sont pourtant pas impossibles. Ce n'est pas qu'on puisse se flatter d'y satisfaire d'une manière absolue: mais nous allons faire voir que le général Rugy et le major Mouzé, après avoir tracé à l'assiégeant la marche à suivre pour accélérer la reddition d'une place, ont su créer les obstacles les plus puissans pour la retarder, soit que l'ennemi suive ou non leurs tracés d'attaque. Donnons une première analyse.

148. L'ensemble du système *B* contient les dispositions de fourneaux suivantes : 1.° contre les batteries à ricochet de

la seconde parallèle ; 2.° contre les batteries d'obusiers de la troisième ; 3.° contre les têtes de sape sur les saillans ; 4.° contre les cavaliers de tranchée ; 5.° contre les batteries de mortiers et de pierriers en avant des places d'armes rentrantes ; 6.° contre les batteries de brèche, et 7.° contre celles de contre-flanc. On ne parle point des dispositions dépendantes de la galerie d'escarpe, qui dans tous les systèmes actuels ne peuvent beaucoup différer les unes des autres.

L'ensemble du système *C* a pour but ; 1.° de contrarier la marche des têtes de sape sur les capitales des saillans ; 2.° d'y soutenir la guerre souterraine au moyen de certaines galeries basses et indépendantes des dispositions préparées contre les travaux extérieurs ; 3.° de défendre la galerie de contrescarpe contre les fouilles du mineur ennemi lorsque, la place pouvant être battue à ricochet, l'assiégeant peut se loger de vive force dans le chemin couvert ; 4.° de forcer l'ennemi, dans ce même cas, à établir ses batteries de brèche fort en arrière de la palissade, en enlevant en masse, par le jeu simultané de quelques gros fourneaux, le terrain sur lequel on les établit ordinairement ; 5.° de disputer les approches du chemin couvert à l'ennemi par la guerre souterraine, lorsque, la place n'étant pas soumise au tir à ricochet, il ne peut s'en emparer que pied à pied ; 6.° d'enlever, dans la même hypothèse, le terrain sur lequel s'établissent les batteries de brèche lorsque les ressources de la guerre souterraine sont épuisées ; 7.° d'escarper de nouveau les brèches, en enlevant les décombres roulés au pied des revêtemens ; et, 8.°, enfin, de détruire les logemens de l'ennemi sur les brèches mêmes, quand

PL. V et VI. les ouvrages, étant retranchés, permettent d'attendre l'assaut. Détaillons.

Fig. 46 et 47. 149. 1.° Le général Rugy a porté la prévoyance jusqu'à indiquer les moyens qu'on pourroit employer dans le cas où, les localités n'offrant qu'une position unique à l'établissement de la seconde parallèle, on voudroit contrarier sa construction et celle de ses batteries. Les longues écoutes qui conduisent aux dispositions de fourneaux qu'il propose à ce sujet, ne peuvent manquer d'avoir un courant d'air, puisqu'elles se coupent et qu'elles sont liées par des transversales. Quant à l'arrangement des fourneaux de chaque tige en particulier, et à celui des tiges entre elles, on verra plus bas, quand nous aurons donné la manière de tracer méthodiquement les rameaux et les fourneaux, que ces dispositions sont des mieux entendues, et que si l'assiégeant, au lieu de s'assurer du dessous du terrain avant d'établir ses batteries, attendoit leur consolidation de l'épuisement des feux souterrains de l'assiégé, il les verroit sauter au moins trois fois avant qu'elles pussent commencer à tirer. Mais comme l'on doit poser en fait que toute place défendue par des mines sera attaquée par des mineurs, et que l'assiégeant ignore rarement la position des principales galeries défensives, il est indubitable qu'il emploiera ses mineurs avant tout, et que la construction et le jeu de ses batteries ne seront retardés que du temps nécessaire pour exécuter un boyau qui aille du point *E*, par exemple, vers la croisée des écoutes, et pour creuser et charger à outrance, à l'extrémité de ce boyau, un puits dont l'explosion écrasera immanquablement les écoutes, isolera les dispositions de fourneaux établies en-delà de la rupture des galeries, et les rendra

tout-à-fait inutiles. Quel est donc, dans l'hypothèse où le site n'offre à l'emplacement de la seconde parallèle qu'une position unique, l'avantage que procurent les dispositions du général Rugy ? celui de retarder de trois à quatre jours le tir des batteries à ricochet de cette parallèle, et de produire de bonne heure, sur la masse vulgaire des assiégeans, l'effet moral qu'on doit attendre des mines. C'est beaucoup sans doute, et le surcroît de dépense que nécessite l'exécution de quelques centaines de mètres de galerie et de rameaux paroîtra peut-être suffisamment motivé par le service qu'on en peut retirer. Ce n'est donc point la dépense ni la facilité de détruire assez promptement les longues écoutes du système *B*, qui ont dû déterminer le *major Mouzé* à n'étendre sa défense souterraine qu'un peu au-delà du pied des glacis : c'est la seule considération que la circonstance prévue par le général Rugy est, sinon introuvable, du moins infiniment rare. PLANCHE VI.

150. 2.° L'auteur du système *B* prépare de très-grands moyens contre l'établissement de la troisième parallèle et de ses batteries. Remarquons d'abord, à propos de l'indépendance qui doit exister entre les parties qui composent un système de mines défensives, que si l'on ne vouloit point dans celui du général Rugy porter la défense souterraine jusqu'à la seconde parallèle, il n'y auroit néanmoins rien à changer aux dispositions proposées contre la troisième, puisque les longues écoutes peuvent se terminer en *A*, et que dans le cas où on ne voudroit rien disposer non plus contre cette dernière parallèle, la suppression entière des longues écoutes ne détruiroit pas l'ensemble du reste de tout le système. Venons maintenant à l'article particulier qui nous occupe. *Fig.* 47.

Pl. V et VI. Les fourneaux dont le général Rugy crible le terrain sur lequel il prétend que doit passer la troisième parallèle, présentant un aspect formidable, il est hors de doute que l'assiégeant n'entreprendra point de s'établir dessus sans l'avoir préalablement fait fouiller par ses mineurs, et qu'il attendra, pour pousser ses travaux extérieurs, que le succès des fouilles souterraines le lui permette. Mais la troisième parallèle s'exécutant en partant des saillans pour se joindre à demi-distance de deux saillans voisins, et les portions de transversales situées en dehors des longues écoutes devenant aussi des écoutes où l'assiégé peut attendre avantageusement son adversaire, il résulte que la guerre souterraine qui s'établira dans cette direction sera d'autant plus défavorable au mineur assiégeant, que ces écoutes de circonstances ne présentant que des pointes aux effets de ses fourneaux surchargés, ce ne sera qu'à force d'opiniâtreté et de travail qu'il parviendra enfin à les culbuter et à chasser le mineur assiégé de tout le reste de la disposition. Voilà le bon côté de l'appareil du général Rugy. Mais la dernière parallèle doit-elle nécessairement passer sur le terrain où elle est attendue dans le système *B*? ne peut-elle pas être rapprochée en-deça comme on le voit au système *C*? et alors qu'a-t-elle à craindre des fourneaux préparés contre elle? peu de chose ou rien; et voilà pourquoi il convient de déterminer la plus grande et surtout la plus petite distance que l'on puisse faire exister entre la dernière parallèle et les saillans des chemins couverts, afin de ne pas s'exposer, quand on veut en contrarier la construction, à faire des dispositions vicieuses et incomplètes.

Fig. 46 *et* 47. On ne voit pas, au système *C*, que le major Mouzé ait rien préparé contre la troisième ou quatrième parallèle:

mais on trouve dans les planches qui accompagnent un mémoire connu en 1790, un très-grand appareil de fourneaux dirigés contre cette ligne ; et voici comment il en avoit raisonné l'étendue et l'arrangement. Le plus grand éloignement de la dernière parallèle aux saillans des chemins couverts ne pouvant être de plus de cent mètres (50^toises), pour que l'ennemi puisse de là soutenir ses travaux ultérieurs, et le plus petit éloignement ne pouvant être de moins de vingt-huit mètres (14^toises) afin d'être hors de la portée des grenades à main ; c'est l'intervalle entre ces deux éloignemens, ou une étendue de soixante-douze mètres (36^toises), qu'il faut hérisser de fourneaux si on veut opposer quelque chose d'efficace à l'établissement de la parallèle en question. Le major Mouzé avoit donc miné toute cette étendue, en élevant perpendiculairement sur la transversale qui, dans son système, coupe le saillant de chaque place d'armes rentrante, deux écoutes, éloignées de la capitale de quatorze à seize mètres (7 à 8^toises), et jointes entre elles par deux autres transversales, pour établir un courant d'air. Les fourneaux étoient placés en dehors des écoutes, par la raison, énoncée plus haut, que la parallèle se pousse en allant des saillans aux rentrans, et ils étoient disposés entre eux de la même manière que ceux qu'on voit dirigés contre les têtes de sape au système *C*. Le major Mouzé, dans son Traité sur les mines, a supprimé cet appareil, non qu'il l'ait jugé inutile ou défectueux, mais parce que son exécution lui a paru trop dispendieuse : il dit ne l'avoir abandonné qu'à regret. Concluons donc de cet aveu, et de l'immensité des préparatifs du général Rugy contre la dernière parallèle, que des dispositions souterraines

PLANCHE VI.

Fig. 47.

faites contre cette ligne sont très-militaires, et que pour être judicieuses il suffit qu'elles soient dilatées suffisamment pour que l'ennemi dans aucun cas ne puisse les éviter.

151. 3.° Le général Rugy n'admettant d'autres têtes de sape que celles qui coupent les capitales en zigzags, ou qui se poussent sur les capitales mêmes en sapes doubles, n'embrasse que 13,64 mètres (7 toises) de chaque côté de la capitale de la demi-lune, et 15,60 mètres (8 toises) de chaque côté des capitales des bastions. Le major Mouzé, persuadé de la faculté qu'a l'assiégeant de pousser des sapes doubles à seize ou vingt-quatre mètres (8 à 12 toises) des capitales, et non moins convaincu que la marche des attaques sur les bastions se règle sur les progrès de celle sur la demi-lune; double ses moyens en avant de celle-ci; c'est-à-dire, y réunit deux dispositions de fourneaux, dont la première, ou la plus avancée vers la campagne, embrasse quarante mètres (20 toises) de chaque côté de la capitale; et fait embrasser trente mètres (15 toises) seulement par la seconde, ainsi que par celle unique qu'il établit en avant des bastions. Nous avons déjà dit (n.° 143), en parlant des écoutes pour la défense des saillans, que, dans la supposition où on accorderoit à l'assiégeant la faculté de s'écarter des capitales de seize à vingt-quatre mètres (8 à 12 toises), les écoutes du général Rugy seroient trop rapprochées l'une de l'autre pour que les dispositions de fourneaux établies entre elles pussent rien produire sur les travaux de l'ennemi dans cette partie: ainsi la comparaison des deux systèmes *B* et *C*, relativement aux dispositions contre les têtes de sape, est entièrement à l'avantage du dernier. Mais poursuivons.

Les préparatifs provisoires du général Rugy pour la guerre

souterraine sur les saillans, consistent en une seule écoute en capitale ; et ses ressources circonstancielles pour le même objet sont dans les rameaux qu'il peut faire exécuter, dans diverses directions, en dehors des écoutes qui renferment ses dispositions de fourneaux contre les travaux extérieurs. Le major Mouzé, n'ayant pas trouvé cela suffisant, a imaginé de creuser dans ses galeries transversales, quand la présence des eaux ne s'y oppose pas, des puits d'environ trois mètres (9^{pieds}) de profondeur, du fond desquels il part en demi-galeries (celles lavées en jaune, figure 47) qu'il pousse assez loin vers la campagne. Ces demi-galeries occupant le plus bas du terrain, ou du moins étant fort au-dessous du sol, seroient sans contredit le plus sûr moyen de prolonger la guerre souterraine sur les saillans : mais est-on bien certain, en cas qu'on puisse les exécuter, qu'elles ne seront pas inhabitables au moment d'en faire usage ? Il y aura un courant d'air dans les transversales, sans doute : mais l'air jouera-t-il dans ces galeries inférieures ? et s'il n'y joue point, comment respireront, et le mineur qu'on y met aux écoutes, et les hommes qui devront y faire un service long et laborieux ? comment y entretiendra-t-on des bougies allumées ? Des observations toutes récentes nous ont prouvé que lorsque l'air ne pénétroit que par un puits dans une demi-galerie de vingt à vingt-quatre mètres (10 à 12^{toises}) de longueur, les lumières y brûloient déjà difficilement, surtout pendant le travail, qu'elles s'éteignoient fréquemment ; que les hommes respiroient avec peine dans un rameau pratiqué en retour au bout de cette galerie ; et enfin qu'il devenoit absolument impossible de s'éclairer et de travailler, seulement quelques minutes, dans ce même rameau, si on lui faisoit faire

plusieurs crochets en s'éloignant de son entrée. Or, les demi-galeries du major Mouzé ne recevant d'air que par des puits, leur longueur devant être portée à trente mètres (15^{toises}) au moins, et les rameaux qui doivent en déboucher pour attendre l'ennemi ou aller à sa rencontre devant se faire à la hâte et avoir quelquefois plusieurs retours, il est évident que ces galeries doivent paroître bien peu susceptibles de remplir le but auquel les destine leur auteur. Résumons-nous donc.

L'appareil de fourneaux du général Rugy contre les têtes de sape est très-bien défendu par les galeries qui l'environnent; mais ces mêmes galeries ne sont point suffisamment protégées contre les fouilles du mineur assiégeant, et la totalité de chaque disposition n'embrasse pas assez d'espace de chaque côté de la capitale.

Les dispositions du major Mouzé n'ont pas ce dernier défaut; les transversales qui supportent l'appareil de fourneaux dirigés contre les travaux extérieurs, sont très-bien couvertes par lui : mais il est trop à craindre que cet appareil, à son tour, ne reçoive pas, de la part des galeries inférieures et avancées, la protection dont il a besoin pour ne pas être culbuté dès les premières opérations de la guerre souterraine.

152. 4.° Les dispositions du système *B* contre les cavaliers de tranchée, les batteries de brèche et de contre-flancs, et en général contre tous les ouvrages dépendans du couronnement du chemin couvert, supposent que ce couronnement se fera pied à pied : mais comme le plus souvent, surtout lorsque la place est soumise aux effets des ricochets, le chemin couvert peut être emporté de vive force, et que

dans ce cas l'assiégeant ne songe à établir ses batteries de brèche et de contre-flancs qu'après avoir détruit la galerie de contrescarpe; ces dispositions du système *B* ne paroissent point capables de parer à tout. Celles du système *C* ont plus éminemment cet avantage. L'assiégeant fait-il son couronnement pied à pied et de concert avec son mineur, comme cela est supposé à l'attaque du bastion (figures 46 et 47)? les mesures sont prises pour détruire ses travaux extérieurs et se défendre contre ses travaux souterrains. Est-il parvenu à se loger dans le chemin couvert par la marche lente des sapes? les moyens sont tout prêts pour le rejeter sur le glacis et lui rendre le chemin couvert de plus en plus *inabordable*, en enlevant une partie de la largeur de son terre-plein. Est-il maître du chemin couvert par suite d'une attaque de vive force, comme on le suppose à l'attaque de la demi-lune? on le rejette également sur le glacis, et on lui dispute long-temps encore les entonnoirs des fourneaux qu'on a *fait jouer* dans le chemin couvert. Est-il enfin sur le point de renverser la galerie de contrescarpe, soit que le chemin couvert ait été pris pied à pied ou de vive force? de gros fourneaux placés le long des branches du chemin couvert de la demi-lune et des bastions, enlèvent en masse l'emplacement des batteries de brèche et de contre-flancs sur la crête du glacis; de manière que le chemin couvert étant lui-même bouleversé, et le recomblement des divers entonnoirs, à cette proximité de la place, infiniment difficile, pour ne pas dire impossible, il est obligé d'établir ses batteries tellement en arrière des palissades, que les masques laissés à la crête du glacis et au bord de la contrescarpe lui interceptent alors la vue des revêtemens

à battre. Dans cette situation il faut donc encore qu'il détruise ces masques par des fourneaux, étant trop épais pour l'être par le canon ; et c'est après cette dernière opération qu'il peut enfin faire usage de ses batteries. C'est aussi à cette époque du siége que, dans le système *C*, se termine la défense souterraine des dehors.

Le système *B* n'offre pas toutes ces ressources. Cependant, si l'ennemi ne pouvoit commencer ses attaques contre le chemin couvert qu'en élevant des cavaliers de tranchée pour le purger de ses défenseurs, s'il étoit obligé de faire tous ses cheminemens-pied à pied, ou s'il s'y décidoit de lui-même ; alors les petits appendices que l'on voit (fig. 47) en dehors des écoutes parallèles aux capitales, des saillans, feroient d'abord sauter plusieurs fois les cavaliers de tranchée, et les dispositions préparées en avant de la crête des glacis feroient ensuite sauter à plusieurs reprises, soit les travaux de couronnement que l'on voit à la partie gauche du système *B* (fig. 46), soit les batteries de brèche et de contre-flancs que l'on voit à la partie droite. Mais si l'ennemi, prévenu des obstacles qui l'attendent sur la crête des glacis, brusquoit l'attaque du chemin couvert, s'il s'y logeoit de vive force, et que de là il dirigeât ses mineurs contre la galerie placée sous la banquette, il est très-probable que cette galerie ne résisteroit pas long-temps à des attaques faites d'aussi près, particulièrement s'il n'y avoit rien d'établi pour sa défense sous le terre-plein du chemin couvert. Nous ignorons si le général Rugy a jamais eu l'intention d'y préparer des fourneaux ; mais ceux qu'il établit en avant de la crête des glacis étant disposés de manière à détruire, ou du moins à dégrader, trois fois de suite sur le même point, les batteries

ou les autres ouvrages que l'assiégeant voudroit y construire sans s'être auparavant assuré du dessous du terrain, il semble, par la grandeur même de ces obstacles, lui faire une loi de pénétrer vivement dans le chemin couvert, pour de là combattre plus avantageusement la galerie de contrescarpe et ses fourneaux. Concluons donc que, les dispositions de fourneaux préparées en avant de la crête des glacis devant moins agir sur des ouvrages déjà faits qu'empêcher qu'on n'en fasse, les gros fourneaux du major Mouzé, qui enlèvent à la dernière extrémité tout le terrain sur lequel ces ouvrages s'établissent, sont plus appropriés au genre de service qu'ils doivent rendre, que le triple rang de fourneaux du général Rugy.

153. 5.° Les dispositions des deux systèmes contre les batteries de mortiers et de pierriers en avant des places d'armes rentrantes, sont assez peu différentes l'une de l'autre, en tant qu'elles n'ont d'autre destination que de renverser ces batteries; mais celles du système *B*, en les dilatant un peu plus, pourroient encore servir contre les cheminemens que l'ennemi est obligé de faire sur les saillans de ces places d'armes lorsque l'angle du polygone est fort ouvert : celles du système *C* n'auroient point d'effet contre ces cheminemens. Du reste, les fourneaux qu'on voit dans les places d'armes rentrantes, dans ce dernier système, sont une suite du projet de défense adopté par l'auteur pour le chemin couvert.

154. 6.° On remarque, au système *B*, que les communications dans le fossé passent sous les traverses. Cette position est défectueuse, en ce qu'elle prive l'assiégé de la faculté de culbuter ces traverses lorsque, à la prise du chemin

couvert, elles deviennent des masques utiles à l'assiégeant. Il est donc plus avantageux de faire passer ces communications sous la banquette des traverses, puisque cette position permet d'établir sous leur massif les fourneaux qu'on y voit au système *C*.

155. 7.° La position des communications passant sous le fossé, et l'arrangement des dispositions de fourneaux partant de la galerie d'escarpe, ne pouvant guères être dissemblables dans les systèmes actuels de mines défensives, nous n'avons aucune remarque particulière à faire ici sur ces deux objets. Tout ce que nous avions à en dire se trouve d'ailleurs à la fin de la section précédente. Nous terminerons celle-ci en prévenant nos lecteurs que le système *B* ne nous étant connu que par des plans, il est très-possible que nous ayons omis quelques-uns des motifs qui en ont dirigé le tracé; que nous en ayons supposé d'autres que l'auteur n'a pas eus, et peut-être aussi que nous ayons donné une fausse interprétation à ceux qu'il a eus réellement.

Nous allons passer aux règles à observer dans le tracé des rameaux et des fourneaux.

SECTION IV.

Effets des fourneaux et figure de l'entonnoir.

156. L'EXPLOSION d'un fourneau produit deux effets : l'un, qui est extérieur, se manifeste par l'excavation qu'on nomme entonnoir; et l'autre, qui est intérieur, par une com-

motion dans le voisinage de son foyer, capable de culbuter les galeries qui s'en trouveroient rapprochées à une certaine distance. [9]

157. Il est assez indifférent de savoir comment la poudre agit pour produire constamment des entonnoirs d'une figure quelconque; mais il importe de connoître cette figure, puisque c'est son volume particulièrement qui sert de base au calcul des charges. Cette figure a été successivement considérée comme cône entier, comme tronc de cône, comme paraboloïde, et comme paraboloïde tronqué. Les mineurs aujourd'hui ont définitivement adopté le tronc de cône, non parce qu'il leur semble la véritable figure de l'entonnoir, mais parce que cette figure et celle du paraboloïde tronqué, qui nous paroît être celle qu'il affecte réellement, sont presque semblables, et que la formule dont on use pour avoir la solidité de la première est plus simple et plus facile à retenir que celle qui donne la solidité de l'autre. (Voyez la section IX).

158. Les effets des fourneaux augmentent avec les charges, mais ne suivent pas la même progression, c'est-à-dire qu'une charge double d'une autre produit bien, à égalité de ligne de moindre résistance, des effets plus grands, mais non doubles de la charge simple.

159. Les effets étant plus ou moins grands suivant que la charge est plus ou moins grande, c'est la considération de ces effets qui, dans les mines défensives, règle la distribution des fourneaux entre eux et leur écartement des autres vides voisins à conserver: nous disons dans les mines défensives, parce que là seulement on a intérêt de ne point creuser à l'ennemi des couverts par des effets extérieurs trop

grands, et de ne pas détruire ses propres galeries par de trop fortes commotions intérieures.

SECTION V.

Règle générale à observer dans la distribution des fourneaux entre eux et par rapport aux galeries voisines à conserver.

160. Des différences dans les charges en apportant dans les effets de fourneaux égaux, on a cherché à fixer les charges en général, de manière qu'assez fortes pour renverser à l'extérieur les ouvrages de l'assiégeant, elles ne le fussent point assez pour lui creuser des couverts favorables à ses vues, ni produire dans l'intérieur la destruction des galeries ou fourneaux voisins à conserver. L'expérience, le seul guide en ce cas, a démontré qu'une charge qui produiroit un entonnoir dont le cercle supérieur auroit un diamètre double de la ligne de moindre résistance du fourneau, suffiroit pour renverser les travaux de l'assiégeant; ne lui creuseroit point de couvert dangereux pour la place, et que la commotion intérieure n'auroit point d'effet sur des galeries et des fourneaux éloignés du foyer de l'explosion de deux fois ou seulement une fois trois quarts la même ligne de moindre résistance.

161. De là la grande règle générale, de calculer les charges sur l'effet extérieur dont on vient de parler, et que, pour n'être point dans la sphère de destruction d'un fourneau chargé ainsi, il faut que les autres fourneaux et les galeries

à conserver soient éloignés du foyer de l'explosion de deux fois ou une fois trois quarts la ligne de moindre résistance de ce fourneau.

De là encore les conséquences suivantes, que si l'on veut produire des effets plus grands, au moyen de plus grandes charges, il faudra éloigner davantage les fourneaux *surchargés* des vides voisins intérieurs; et, réciproquement, que si l'on veut diminuer les effets en diminuant les charges, on pourra rapprocher davantage les vides voisins des fourneaux *sous-chargés*.

162. La faculté de diminuer les effets des fourneaux est utile dans les mines défensives, particulièrement lorsqu'il s'agit de fourneaux de cinq mètres (15^{pieds}) de *ligne de moindre résistance* et au-dessus. On conçoit en effet que ces grands fourneaux, chargés selon la règle générale, offriroient dans leurs entonnoirs de vastes et profonds couverts à l'ennemi; mais que cet inconvénient disparoît si on a l'attention, quand on le croit nécessaire, de réduire les charges de manière à ne produire que les effets dont on a besoin.

Quant à la faculté d'augmenter les effets des fourneaux, elle est d'un très-grand avantage entre les mains de l'assiégeant, pour opérer, par des commotions propagées au loin, et par le moyen des fourneaux surchargés (que Bélidor, comme on sait, a nommés globes de compression), la destruction des galeries de l'assiégé.

SECTION VI.

Distribution des étages de fourneaux.

163. Quoique avec des lignes égales de moindre résistance on puisse, en variant les charges, produire des entonnoirs de diverses grandeurs, on préfère, dans les mines défensives, varier les lignes de moindre résistance et ne rien changer aux charges respectives des fourneaux : ainsi, lorsque dans la pratique des mines on veut produire divers entonnoirs, les fourneaux destinés à produire de grands entonnoirs ont des lignes de moindre résistance plus grandes que ceux qui n'en doivent produire que de petits.

164. De là l'usage de composer un même dispositif de mines, de fourneaux ayant différentes lignes de moindre résistance.

165. La différence des lignes de moindre résistance entre les fourneaux composant un seul dispositif, est assujettie aux règles suivantes : 1.° les fourneaux égaux en ligne de moindre résistance doivent être rangés sur une même ligne ; et 2.° ceux qui ont la plus foible ligne de moindre résistance doivent être les plus avancés vers la campagne. "

166. Quand cette diversité n'existe pas dans un dispositif, les fourneaux peuvent alors être alignés entre eux, ou occuper les angles d'un triangle, d'un rectangle, etc.

167. Lorsque les fourneaux d'un dispositif sont situés dans différens plans parallèles à la surface du terrain, ce qui est la même chose que d'avoir des lignes de moindre résitance

différentes, on dit de ce dispositif qu'il est à plusieurs *étages*. Ces étages ordinairement ne sont pas au nombre de plus de trois. Le premier se compose des plus petits fourneaux, et par conséquent il est le plus avancé vers la campagne.

168. Les fourneaux du premier étage devant par leur position jouer les premiers, leur écartement de ceux du second sera conforme à la règle établie par le numéro 161, s'ils en sont éloignés de deux fois ou une fois trois quarts leur ligne de moindre résistance : il est évident que l'effet intérieur d'un fourneau de 3,25 mètres (10^{pieds}), par exemple, placé au premier étage et chargé à l'ordinaire, ne nuira pas à un fourneau du deuxième étage si celui-ci est à 6,50 mètres (20^{pieds}), ou seulement à 5,68 mètres (17^{pieds} 6^{pouces}) de l'autre.

Même raisonnement pour l'emplacement des fourneaux du troisième étage par rapport à ceux du second.

169. A l'égard des fourneaux d'un même étage, leur écartement entre eux doit toujours être double de leur ligne de moindre résistance, sauf un cas particulier dont il sera parlé tout à l'heure.

170. Dans beaucoup de circonstances les fourneaux du dernier étage doivent être placés de manière à détruire, en jouant, la galerie de laquelle débouchent leurs rameaux. Pour cela, le foyer de ces fourneaux ne doit pas être beaucoup plus éloigné de la galerie à détruire que d'une fois leur ligne de moindre résistance.

171. La pluralité des étages sert à enlever à plusieurs reprises quelques portions d'une même surface de terrain.

SECTION VII.

Des fourneaux accolés et des fourneaux isolés.

172. La règle (n.° 169) qui fixe au double de la ligne de moindre résistance l'écartement réciproque des fourneaux d'un même étage, est susceptible de modification lorsqu'il s'agit de fourneaux destinés à jouer ensemble deux à deux, trois à trois, quatre à quatre, etc.; dans ce cas les fourneaux peuvent se rapprocher les uns des autres autant qu'on le juge à propos.

173. Les fourneaux ainsi rapprochés pour ne faire qu'une explosion, se nomment *fourneaux accolés*. Leur entonnoir commun est formé de leurs entonnoirs particuliers, qui pénètrent d'autant plus les uns dans les autres que les foyers des fourneaux sont plus rapprochés entre eux.

174. Les fourneaux qui, devant jouer séparément, sont dans une espèce d'isolement mutuel, se nomment par cette raison *fourneaux isolés*, et chacun d'eux produit un entonnoir distinct, dont le grand cercle est en tangence avec ceux des fourneaux voisins du même étage.

175. Quoique destinés à jouer séparément, plusieurs fourneaux isolés peuvent néanmoins être réunis dans une seule et même explosion.

176. Les fourneaux isolés et ceux accolés s'emploient indifféremment dans toutes sortes de cas. Cependant on doit préférer les derniers lorsqu'il est question de renverser des batteries, parce qu'ils en rendent le rétablissement,

sinon impossible, du moins très-long et très-difficile, en bouleversant entièrement le terrain sur lequel elles s'établissent.

A leur tour les fourneaux isolés obtiennent la préférence lorsqu'il s'agit de contrarier la marche des têtes de sape, attendu qu'ils découvrent moins le fond du terrain, et qu'il n'en résulte que de petits couverts dont l'ennemi ne sauroit tirer grand avantage.

SECTION VIII.

Application des principes précédens au tracé des rameaux et fourneaux.

177. Lorsque les localités ne permettent ni n'obligent de faire des mines à plus d'un étage, alors, tous les fourneaux ayant la même ligne de moindre résistance, il s'agit seulement de les disposer par tiges et de composer chacune d'elles de deux, de trois, de quatre, etc., fourneaux, en se réglant sur l'importance des points à défendre, et sur l'étendue du terrain qu'on veut pouvoir culbuter. Quand une tige n'est composée que de deux fourneaux, le tracé peut se faire comme on le voit à la figure 48 ou à celle 49; quand elle en contient trois, on peut suivre le tracé des figures 50 et 51; lorsqu'elle en a quatre, ils peuvent être disposés conformément à la figure 52, et enfin quand elle en a davantage, huit par exemple, le tracé de la figure 53 est le plus simple et le plus régulier qu'on puisse employer. Nous allons expliquer la manière de tracer cette dernière tige, qui, PLANCHE VII.

PLANCHE VII. étant la plus compliquée, remplira mieux le but que nous nous proposons.

Connoissant la ligne de moindre résistance que doivent avoir
Fig. 53. les fourneaux, et voulant les mettre en position isolée les uns par rapport aux autres, menez parallèlement à la galerie *AB* la ligne *DE*, qui soit distante du centre *C* de la galerie d'une longueur, ou égale, ou presque double, par rapport à la ligne de moindre résistance des fourneaux, suivant que vous voudrez que leur effet détruise ou respecte cette galerie (n.° 170). Menez ensuite une autre parallèle *F G*, distante de la première de deux fois la ligne de moindre résistance des fourneaux. Cela fait, à partir d'un point quelconque *Z* pris sur la ligne *F G* où vous voudrez placer un premier fourneau, portez une ouverture de compas égale au double de la ligne de moindre résistance, de *Z* en *H*, de *H* en *I* et de *I* en *K*. De ces quatre points, qui marquent les emplacemens d'autant de fourneaux, abaissez sur *DE* les perpendiculaires *ZL*, *HM*, *IN* et *KO*: vous aurez sur cette ligne les points *L*, *M*, *N*, *O*, qui marqueront les emplacemens de quatre autres fourneaux correspondans à ceux de la ligne *FG*. Si vous décrivez après cela, autour des huit points déterminés, des cercles qui aient pour rayon commun la ligne de moindre résistance des fourneaux, vous verrez que ces cercles, qui marquent les limites des entonnoirs, embrasseront toute la surface du terrain que vous aurez voulu soumettre à l'action des fourneaux, sauf les petites portions *p*, *m*, *q*, qui peuvent subsister sans inconvénient.

Après avoir ainsi déterminé l'emplacement des fourneaux (on commence toujours par là), il ne reste plus qu'à tracer les rameaux qui conduiront à leurs foyers. La manière dont

on y procède est fort simple quand tous les fourneaux de la même tige doivent être réunis dans la même explosion, comme nous le supposons d'abord. Connoissant la capacité qu'auront les fourneaux et la largeur des rameaux auxquels ils s'appuieront, prenez la moitié de cette capacité et de cette largeur, et portez-la du centre d'un des fourneaux, de celui *Z* par exemple, de *Z* en *a*. Portez-la également de *H* en *b*, et liez les points *a* et *b* par la ligne *a b*. Faites la même chose pour chaque paire de fourneaux *IK, LM, NO;* cherchez le milieu *v* de la ligne *a b* et des trois autres lignes pareilles, *cd, ef, gh;* menez la ligne *vx* pour joindre les quatre fourneaux de la gauche de la figure, et celle *yz* pour joindre les quatre fourneaux de la droite; cherchez les milieux *p* et *q* des lignes *vx* et *yz;* joignez ces milieux par la ligne *pq;* enfin, cherchez le milieu *m* de cette dernière ligne, et de ce point abaissez sur la galerie *AB* la perpendiculaire *mC:* toutes ces différentes lignes seront les centres respectifs des rameaux à faire pour arriver aux fourneaux de toute la tige.

178. Il y a deux choses à remarquer à l'avantage de ce tracé, et une à son désavantage. Les deux premières sont, 1.° que, tous les retours des rameaux formant des angles droits, cet arrangement rend la main d'œuvre plus simple et plus facile, et, 2.° que le chemin à parcourir pour aller du point *C* à un des fourneaux quelconques étant le même que celui pour aller à tel autre que ce soit, le compassement des feux, si on vouloit faire jouer tous les fourneaux à la fois, seroit le plus simple qu'on pût désirer. Le désavantage de ce tracé consiste dans l'impossibilité de faire jouer un fourneau de la tige sans nuire aux communications qui conduisent aux fourneaux voisins. En

PLANCHE VII. effet, si l'on vouloit, par exemple, faire jouer seul le fourneau *Z*, on ne le pourroit qu'en sacrifiant la communication qui conduit à celui *H*, et en exposant beaucoup celle qui mène aux fourneaux *L* et *M*; et si l'on vouloit ne faire jouer à la fois que deux fourneaux, ceux *Z* et *H*, par exemple, leur explosion détruiroit sûrement la communication des fourneaux *L* et *M*, et très-probablement celle qui conduit aux quatre fourneaux de la droite de la figure.

Ce tracé n'est donc véritablement bon que dans le cas où les huit fourneaux devroient jouer ensemble. Mais comme le plus souvent le jeu d'un ou de deux fourneaux arrête aussi bien une attaque, ou retarde aussi efficacement un ouvrage, que le pourroit faire le jeu d'un plus grand nombre; comme il importe essentiellement de ne point épuiser d'un seul coup les ressources que fournissent les feux souterrains, en ce que la connoissance que l'ennemi auroit de l'épuisement de ces feux le guériroit de la terreur qu'ils impriment, il faut que le tracé des rameaux soit tel qu'on puisse faire jouer les fourneaux aussi bien un à un, ou deux à deux, que tous à la fois.

Si donc, sans rien changer à la distribution des fourneaux de la figure 53, on vouloit que chacun d'eux fût indépendant de ses voisins, ou du moins qu'il n'y en eût que deux de soumis l'un à l'autre, il faudroit, au lieu d'une tige, en faire plusieurs, et observer que les rameaux appartenant aux fourneaux *L, M, N, O*, ne pussent être culbutés par le jeu d'aucun des autres qui par leur position sont censés devoir jouer les premiers.

Un des tracés que l'on peut suivre pour satisfaire à ces nouvelles conditions est celui de la figure 54. On y voit que

le fourneau *Z* est absolument indépendant de ses voisins *H* et *L*, puisque son foyer est éloigné du double de sa ligne de moindre résistance du rameau qui conduit à celui *H*, et de plus d'une fois trois quarts cette même ligne du rameau qui mène à celui *L* ; que les fourneaux *H* et *I*, jouant ensemble, ne peuvent, par la même raison, nuire aux rameaux qui conduisent aux fourneaux *Z* et *K* ni à ceux *M* et *N*, et que le fourneau *K* pouvant aussi jouer sans nuire à ses voisins *I* et *O*, les quatre fourneaux qui occupent la partie supérieure de la figure fournissent trois explosions séparées et indépendantes. On y voit enfin que, toute la disposition étant composée de trois tiges parfaitement isolées entre elles, le fourneau *L*, ceux *M*, *N*, et celui *O*, fournissent, comme leurs correspondans, trois autres explosions séparées ; ce qui en donne six pour toute la disposition.

179. *Remarque.* Dans la figure 54 les fourneaux *H* et *I*, qui doivent jouer ensemble, pourroient être accolés au lieu d'être isolés, c'est-à-dire qu'au lieu d'être distans l'un de l'autre de deux fois leur ligne de moindre résistance, pour produire des entonnoirs distincts, ils pourroient être plus rapprochés entre eux pour ne former qu'un seul entonnoir oblong. Cette remarque s'applique aussi aux fourneaux *M* et *N*, et il en est de même des fourneaux *Z* et *H*, *I* et *K*, *L* et *M*, *N* et *O*, de la figure 53, qui pourroient être accolés deux à deux pour produire quatre entonnoirs oblongs au lieu de huit entonnoirs ordinaires et distincts.

Mais en voilà assez sur les dispositions de fourneaux à un seul étage : occupons-nous maintenant de celles qui en ont plusieurs.

PLANCHE VII. 180. Lorsque les localités permettent de s'enfoncer d'environ 6,5 mètres (20^{pieds}) au-dessous du sol sans trouver l'eau, ce qui doit toujours avoir lieu quand on se décide à exécuter un système de mines défensives de quelque importance, on peut alors disposer les fourneaux à plusieurs étages. Voici
Fig. 55. comment-cela se fait. Supposons qu'il s'agisse d'établir, en avant de la galerie AB, une tige de fourneaux à trois étages, et que ceux du premier étage doivent avoir 3,25 mètres (10^{pieds}) de ligne de moindre résistance, ceux du second 4,875 mètres (15^{pieds}), et ceux du troisième 6,50 mètres (20^{pieds}); gradation qu'on observe le plus ordinairement. Menez la ligne CD parallèlement et à 6,50 mètres (20^{pieds}) du milieu de la galerie AB; en supposant toutefois que vous vouliez que le jeu des fourneaux du dernier étage détruise cette galerie (n.° 170) : à une distance égale au double de la ligne de moindre résistance des fourneaux du second étage, c'est-à-dire à 9,75 mètres (30^{pieds}) de la parallèle CD, menez-en une autre EF; et à une distance égale au double de la ligne de moindre résistance des fourneaux du premier étage, c'est-à-dire à 6,50 mètres (20^{pieds}) de la parallèle EF, menez-en une dernière GH. Déterminez ensuite sur la parallèle CD deux points I et K, qui soient les centres de deux fourneaux de 6,50 mètres (20^{pieds}) de ligne de moindre résistance, et par conséquent distans entre eux de deux fois cette ligne (n.° 169). De ces deux points I et K élevez les perpendiculaires IL et KM. Les points N et O, où ces perpendiculaires coupent la ligne EF, seront le centre de deux fourneaux de 4,875 mètres (15^{pieds}); et les points L et M, où ces mêmes perpendiculaires aboutissent à la ligne GH, pourront être les centres

de deux fourneaux de 3,25 mètres (10 pieds). Cependant, comme on voit que deux fourneaux de cette espèce n'occuperoient pas assez d'espace sur la ligne GH, on peut, si l'on veut, y en mettre quatre. Pour cela, portez de chaque côté de L et de M une ouverture de compas égale à la ligne de moindre résistance des fourneaux du premier étage, et vous aurez les quatre points P, Q, R, S, qui marqueront les centres d'autant de fourneaux de 3,25 mètres (10 pieds). Décrivez maintenant, autour des foyers de tous les fourneaux, des cercles dont les rayons soient égaux à leurs lignes de moindre résistance respectives: vous verrez que ces cercles, qui représentent l'évasement supérieur des entonnoirs, embrassent en particulier, à bien peu de chose près, l'espace qu'occupe la tige en général.

L'emplacement des fourneaux étant ainsi déterminé, il reste à tracer les rameaux. Faites passer par le milieu de la distance qui sépare les deux fourneaux I et K la perpendiculaire TV, prolongée indéfiniment vers Z. Portez de Q en V une ouverture de compas égale à deux fois la ligne de moindre résistance des fourneaux du premier étage (on doit se souvenir qu'il suffiroit d'une fois trois quarts). Tirez la ligne NO, qui passe par le point V, en coupant TZ à angle droit, et achevez de mener les autres lignes qui conduisent aux quatre fourneaux P, Q, R et S : vous serez sûr par cet arrangement que l'effet des fourneaux du premier étage ne s'étendra pas jusqu'en V, et que par conséquent, soit que les fourneaux P et Q, ou ceux R et S, jouent les premiers, la communication pour aller à ceux qui n'auront pas joué ne sera pas rompue par le jeu des autres. Cette explication sur le tracé des rameaux qui conduisent

Planche VII. aux fourneaux du prémier étage, doit nous dispenser de détailler minutieusement le tracé des rameaux qui conduisent aux fourneaux du second. Bornons-nous donc à observer que le point X, d'où l'on part pour aller aux fourneaux du second étage, doit être hors de la portée de leur effet intérieur, et que pour cela la ligne NX doit avoir deux fois, ou une fois trois quarts, la ligne de moindre résistance de ces fourneaux. A l'égard du point à déterminer sur la partie TX de la ligne TZ pour aller de là aux fourneaux du troisième étage, on voit que lorsque ces fourneaux doivent culbuter la galerie qui leur sert de base, ils en sont trop rapprochés pour mettre un des points de la ligne TX hors de leur atteinte, puisque le point T lui-même ne l'est pas. Ainsi, dans le cas actuel, le tracé des rameaux des fourneaux du troisième étage, qui sera le plus simple, sera aussi le meilleur, et c'est celui qu'on voit à la figure. Il est vrai que de cette manière les fourneaux I et K seront comme accolés et ne pourront jouer l'un sans l'autre; mais la tige dont ils font partie, fournissant néanmoins cinq explosions séparées et indépendantes, l'inconvénient de ne pouvoir en produire qu'une seule avec les deux plus grands fourneaux n'est pas aussi grave qu'il peut d'abord le paroître, et le tracé proposé est très-admissible. Cherchons toutefois à l'améliorer.

Fig. 56. Le premier moyen à employer dans cette vue est de rapprocher davantage les étages entre eux. Au lieu donc de faire exister entre deux étages consécutifs une distance égale au double de la ligne de moindre résistance des fourneaux les plus foibles, comme on l'a fait à la figure 55, il n'y a qu'à diminuer cette distance d'un huitième; et par cette

légère correction, qui est permise, on aura non-seulement diminué la portion du milieu de la tige, qui n'est pas embrassée par les cercles (ce qui est déjà une amélioration), mais on aura encore, en augmentant le recroisement des entonnoirs, rendu plus sensible le caractère auquel on reconnoît la propriété attribuée (n.° 171) à la pluralité des étages. PLANCHE VII.

Le second moyen consiste à accoler les fourneaux du premier étage et ceux du troisième, de manière que leurs entonnoirs recroisés n'embrassent ni plus ni moins d'espace en largeur que n'en occupent les entonnoirs tangens des fourneaux du second étage. Par cet arrangement on réduit presque à rien la portion qui dans les figures 55 et 56 n'est pas soumise à l'action des fourneaux, et l'on voit de plus que si l'on établissoit deux tiges pareilles à côté l'une de l'autre, il n'y auroit entre elles que deux petites quilles, *a* et *b*, sur lesquelles les fourneaux n'auroient point d'effet. Cette dernière tige est donc préférable aux deux précédentes, puisqu'elle comporte d'ailleurs le même nombre d'explosions séparées. *Fig.* 57.

Le troisième moyen consiste, lorsque les circonstances exigent que l'on établisse plusieurs tiges les unes près des autres, à les entremêler de manière qu'il y en ait alternativement une qui contienne les fourneaux des premier et troisième étages, et une qui contienne seulement les fourneaux du second. Une disposition de ce genre, comparée à une autre qui seroit composée de tiges pareilles à celles de la figure 57, offre les avantages suivans : 1.° plus de célérité dans le travail de la construction ; 2.° plus de facilité dans l'œuvre de la charge et du bourrage ; 3.° moins d'incommodité de la part de la fumée après les explosions. *Fig.* 58 *et* 59.

PLANCHE VII. Il est évident que si l'on avoit à exécuter deux dispositions, composées, l'une de tiges semblables à celles de la
Fig. 58. figure 57, et l'autre de tiges pareilles à celles *AB*, il est évident, disons-nous, que celle qui, à nombre égal de fourneaux, auroit un plus grand nombre de débouchés dans la galerie principale, seroit bien plus promptement achevée, puisqu'on pourroit y employer plus de travailleurs à la fois.

Il est encore évident que si pendant un siége il falloit charger et bourrer en même temps les fourneaux des deux premiers étages, comme il arrive quelquefois, le transport des matériaux nécessaires à cette besogne, et la besogne elle-même, se feroient bien plus commodément avec un nombre double de voies qu'avec un nombre simple.

Enfin, il est également incontestable qu'après le jeu des fourneaux du premier étage de la figure 57, il faudroit, avant de pouvoir rentrer dans le reste des ramifications de cette tige, attendre que la fumée qui les infecte presque inévitablement fût entièrement évacuée; au lieu qu'à la figure 58, le second étage étant isolé des deux autres, on n'auroit pas même besoin d'abandonner momentanément les rameaux du second étage pour faire jouer les fourneaux du premier, ni les rameaux du troisième pour faire jouer les fourneaux du second.

Fig. 59. La figure 59 a encore un avantage particulier, qu'elle doit à l'obliquité de quelques-uns de ses rameaux; c'est de pouvoir rapprocher les fourneaux d'un étage de ceux de l'étage supérieur, de moins d'une fois trois quarts la ligne de moindre résistance de ces derniers. On voit, par l'arrangement donné aux rameaux de la figure 58, qu'on ne pourroit pas rapprocher les deux premières lignes d'étages sans placer les

fourneaux du second dans les rameaux du premier. Dans la figure 59, au contraire, l'obliquité donnée aux rameaux qui conduisent aux fourneaux des deux premiers étages, permet de placer ceux des deux derniers très-près de ceux qui les précèdent. Il n'y a en effet entre les deux premiers étages qu'un intervalle de 4,875 mètres (15^{pieds}), au lieu de 5,68 mètres (17^{pieds} 6^{pouces}), et entre les deux derniers qu'une distance de 5,85 (18^{pieds}) au lieu de 8,53 mètres (26^{pieds} 3^{pouces}). Mais voici ce qu'il faut observer. Les fourneaux du second étage ne s'exécutent qu'après que ceux du premier ont joué, et les fourneaux du troisième qu'après le jeu de ceux du second. On se contente de pousser à l'avance les rameaux des deux derniers étages jusqu'à ce qu'il n'y ait plus à faire que la partie ponctuée sur la figure. De cette manière la partie faite ne risque point d'être endommagée par le jeu des fourneaux supérieurs, et on a le temps d'achever la partie à faire avant que l'ennemi ait pu tirer aucun parti des entonnoirs de ces mêmes fourneaux. Autre remarque. Les fourneaux des trois étages, pris trois à trois perpendiculairement à la galerie principale, étant situés dans des plans verticaux, parallèles entre eux et distans les uns des autres de 8,45 mètres (26^{pieds}), il doit en résulter, dira-t-on, que les fourneaux *A* et *D*, supposés de 3,25 mètres (10^{pieds}) de ligne de moindre résistance, laisseront au milieu de leur intervalle une quille de deux mètres (6^{pieds}) qui n'aura pas sauté; que le fourneau *B*, de 4,875 mètres (15^{pieds}), s'il joue avant son voisin *E*, risquera de l'endommager, et enfin que les fourneaux *F* et *G*, de 6,50 mètres (20^{pieds}), endommageront sûrement, en jouant ensemble comme ils le doivent, leurs voisins *C* et *H*. On répond à cela, 1.° que si l'on veut

Planche VII. enlever la quille que respectent les deux fourneaux isolés *A* et *D*, on peut les remplacer par deux paires de fourneaux accolés; 2.° que le fourneau *B*, après le jeu du fourneau *A*, n'a plus 4,875 mètres (15^{pieds}) de ligne de moindre résistance, mais seulement 3,50 mètres (10^{pieds} 6^{pouces}) environ (cette ligne étant alors inclinée vers l'entonnoir du fourneau *A*, comme le fait voir la fig. 60); que par conséquent le fourneau *B* ne devant être chargé qu'en conséquence de cette nouvelle ligne, il est plus éloigné qu'il ne faut de son voisin *E* pour ne pouvoir lui nuire; 3.° enfin, que quoique les fourneaux du troisième étage n'aient plus, après le jeu de ceux du second, que 4,875 mètres (15^{pieds}) de ligne de moindre résistance, au lieu de 6,50 mètres (20^{pieds}), il n'en est pas moins vrai qu'à raison de leur proximité de la galerie *MN* qu'ils doivent renverser, les fourneaux *F* et *G* ne pourront jouer ni séparément ni sans nuire à leurs voisins *C* et *H*; mais comme la disposition dont ils font partie est dirigée contre une tête de sape qui, de quelque manière qu'elle soit poussée, ne peut être en prise à plus de deux fourneaux du dernier étage, il n'importe pas que les fourneaux *F* et *G* respectent ceux *C* et *H*, puisque après le jeu de ceux-là ceux-ci deviennent inutiles.

Fig. 60.

Ce dernier tracé, auquel son auteur, le major Mouzé, tient beaucoup, doit donc paroître préférable à tous ceux des figures 55, 56, 57 et 58.

181. Quelquefois, dans des dispositions à trois étages, on donne aux fourneaux du premier et du troisième une foible ligne de moindre résistance, et une très-grande à ceux du second. Dans la figure 61, par exemple, les quatre fourneaux *A*, *B*, *C* et *D*, ont leur ligne de moindre résistance de

3,25 mètres (10^{pieds}); et ceux E et F ont la leur de 6,50 mètres (20^{pieds}). Par cet arrangement les deux gros fourneaux, qui ne doivent jouer qu'après les autres, reprennent presque tout l'effet produit par les petits. Cette disposition, que le général Rugy établit sous la crête du glacis pour renverser les batteries de brèche plusieurs fois de suite, nous fournit l'occasion de dire que lorsque les fourneaux de deux étages consécutifs ont des lignes de moindre résistance qui diffèrent entre elles de plus de 1,60 mètres (5^{pieds}), comme ceux A et E, par exemple, on ne fixe pas leur emplacement relatif en donnant à la ligne horizontale AE une fois trois quarts la ligne de moindre résistance du fourneau A; car l'écartement réel des deux fourneaux seroit, dans ce cas, représenté par l'hypothénuse d'un triangle rectangle, qui auroit plus de 6,50 mètres (20^{pieds}), puisque les deux autres côtés auroient, l'un 5,68 mètres (17^{pieds} 6^{pouces}), et l'autre 3,25 mètres (10^{pieds}). C'est donc à l'hypothénuse, ou à la distance inclinée, qu'il faut donner 5,68 mètres (17^{pieds} 6^{pouces}); ce qui réduit la distance horizontale à environ 4,875 mètres (15^{pieds}).

Lorsque les lignes de moindre résistance des fourneaux de deux étages de suite ne diffèrent au plus que de 1,60 mètres (5^{pieds}), la ligne inclinée n'ayant alors guères que 0,16 mètres (6^{pouces}) de plus que la ligne horizontale, on néglige, si l'on veut, de tenir compte de cette différence.

182. Les dispositions de fourneaux à deux étages pouvant être aisément formées de celles qui en ont trois, par la seule suppression du premier ou du troisième, il est inutile que nous entrions dans aucun détail sur leur tracé.

183. La figure 47 étant sur une trop petite échelle pour

Pl. VIII et IX. qu'on y puisse saisir autre chose que l'ordonnance générale des dispositions de fourneaux qu'elle contient, nous allons y ajouter quelques figures de détail, qui serviront à la fois de complément à nos explications sur les systèmes de Rugy et de Mouzé, et à celles que nous venons de donner sur le mécanisme du tracé des rameaux et fourneaux. Les dix premières qui appartiennent à ces systèmes, et celle 72, qui est le modèle d'une grande disposition contre les têtes de sape (n.° 143), n'ont besoin d'aucune explication relative au matériel de leur tracé : les cercles qui limitent l'évasement des entonnoirs suffisent pour évaluer, à la simple vue, l'écartement des fourneaux entre eux, leur éloignement des objets à conserver ou à détruire, et la longueur des divers rameaux. Il ne resteroit donc qu'à expliquer les vues dans lesquelles chaque disposition a été tracée; mais outre que *le secret d'ennuyer est celui de tout dire*, il est encore utile de laisser quelque chose à deviner au lecteur, sauf à lui, quand il croira n'avoir pas compris la pensée de l'auteur, à consulter ceux qu'il jugera capables de lever ses doutes.

Fig. 62 à 73.

A l'égard de la figure 73, qui représente de profil les rameaux et les fourneaux des dispositions dépendantes de la galerie d'escarpe, elle fait voir comment, en partant de cette galerie, on descend pour gagner l'emplacement des fourneaux destinés à enlever les décombres des brèches, et comment on monte pour arriver à l'emplacement des fourneaux dirigés contre les logemens de l'ennemi sur les brèches mêmes. La ligne ABC marque l'effet que produiroit le tir en brèche, si les décombres et les terres étoient enlevés à mesure qu'ils sont détachés du revêtement et du rempart :

mais comme il n'y a qu'une partie de ces débris qui trouve place dans le fossé, et que l'autre couvre nécessairement la ligne ABC, la ligne DE marque réellement, ou à peu près, l'inclinaison de la rampe formée par le canon ; et conséquemment les fourneaux F et H sont placés de manière à bien remplir leur objet, puisque le premier culbute le logement de l'ennemi, et que le second disperse les décombres roulés dans le fossé, sans que ni l'un ni l'autre puissent nuire à la partie conservée CG du revêtement.

SECTION IX.

Calcul des charges des fourneaux ordinaires.

184. Nous avons dit (n.° 157) qu'il étoit peu important de savoir comment la poudre agissoit pour produire invariablement des entonnoirs d'une figure quelconque. En effet, les théories qu'on a imaginées pour expliquer ce qui se passe au foyer d'un fourneau quand la poudre s'enflamme n'ayant contribué en rien à l'avancement de l'art du mineur dans les usages de la poudre à la guerre, et d'ailleurs aucune de ces théories n'étant fondée sur des propositions simples et incontestables, il est permis de les regarder toutes comme d'ingénieuses hypothèses, sinon inutiles, du moins fort indifférentes dans la pratique. Nous croyons donc pouvoir établir ici que, la charge des fourneaux ordinaires se réglant sur le volume et la qualité des terres qui sortent de leurs entonnoirs, il suffit de savoir :

1.° Que la poudre enflammée finit toujours par porter

PLANCHE IX. son action vers la surface qui lui présente le moins de résistance ;

2.° Que l'excavation qu'elle produit autour de la plus courte ligne qui la sépare de cette surface, a la figure d'un cône tronqué, ou celle d'un solide tenant du paraboloïde ;

Fig. 74. 3.° Que si c'est un cône tronqué, le diamètre *EF* de sa petite base est égal à sa hauteur, ou à la ligne de moindre résistance *CD*, et le diamètre *AB* de sa grande base, double de celui de la petite ;

Fig. 75. 4.° Que si l'entonnoir tient du paraboloïde, le diamètre *BA* de son grand cercle est double de la ligne de moindre résistance *CD* ;

5.° Enfin, que les charges devant être d'autant plus fortes que les terres sont plus pesantes et plus tenaces", l'expérience a fixé ainsi qu'il suit la quantité de poudre qui convient à chaque genre de terrain, dans l'hypothèse du cône tronqué.

ESPÈCES de TERRAINS.	POIDS D'UN pied cube	POIDS D'UN mètre cube	QUANTITÉ de poudre pour une toise cube	QUANTITÉ de poudre pour un double mèt. cube.	OBSERVATIONS.
	livres.	kilogrammes.	livres.	kilogram.	
Terre commune...	95	1356	$13\frac{1}{2}$	7.14	Quoique plus lourde que la terre commune et le sable fort, la grosse terre mêlée de sable et de gravier exige moins de poudre, parce qu'elle n'a que très-peu de ténacité.
Sable fort.....	124	1770	15	7.94	
Grosse terre mêlée de sable et gravier	130	1856	12	6.34	
Sable humide.....	132	1882	$15\frac{3}{4}$	8.33	
Terre mêlée de grosses pierres.....	133	1899	$16\frac{7}{8}$	8.93	
Argile mêlée de tuf	139	1985	$18\frac{9}{16}$	9.82	
Terre grasse mêlée de cailloux.....	160	2285	$20\frac{1}{4}$	10.71	
Roc	160	2285	27	14.30	

185. Il est aisé de voir, d'après ce tableau, que pour trouver la charge des fourneaux ordinaires (aux entonnoirs desquels on suppose la forme du tronc de cône) il ne s'agit que d'avoir la solidité de ces entonnoirs, et de rapporter à une des espèces de terrains comprises dans le tableau, celui dans lequel les fourneaux sont situés. Donnons sur ces deux objets les éclaircissemens nécessaires. PLANCHE IX.

186. Cherchons d'abord et donnons la formule générale d'un cône tronqué quelconque; après quoi nous en déduirons celle du cône tronqué particulier aux entonnoirs ordinaires de mines. Soit donc le cône tronqué $AEFB$, dont on veuille avoir la solidité. On connoît $CB = R$, $CD = K$ et $DF = r$. Le cône tronqué égale le cône entier moins le cône retranché. Cherchons l'expression de chacune de ces solidités. D'abord il s'agit de trouver la hauteur du cône retranché, qui donnera celle du cône entier. Pour cela nous remarquons qu'on a la proportion suivante : $R : r :: K + x : x$, en nommant x la hauteur du cône retranché. Mais on a aussi $R - r : r :: K + x - x : x :: K : x$; $x = \frac{Kr}{R-r}$. Donc la solidité du grand cône (en représentant par m le rapport de la circonférence au diamètre) $= \frac{mR^2}{3}(K + \frac{Kr}{R-r}) = \frac{mR^2}{3}(\frac{KR+Kr-Kr}{R-r}) \times$ $= \frac{mR^2}{3}(\frac{KR}{R-r})$. La solidité du cône retranché $= \frac{mr^2}{3}(\frac{Kr}{R-r})$. Donc la solidité d'un tronc quelconque, dont les deux rayons des tranches circulaires et la hauteur sont connus, $= \frac{mK}{3(R-r)}(R^3 - r^3)$. Effectuant la division algébrique, l'expression se réduit à $\frac{mK}{3}(R^2 + Rr + r^2)$. Mais dans les enton- Fig. 74.

noirs ordinaires de mines $K = R$, et $r = \frac{R}{2}$. Substituant donc ces valeurs dans l'expression générale, on aura $\frac{m R}{12} \times 7 R^2 = \frac{7}{12} m R^3$. Mais $m = \frac{22}{7}$; donc $\frac{7}{12} m R^3 = \frac{7}{12} \times \frac{22}{7} R^3 = \frac{22}{12} R^3 = \frac{11}{6} R^3$: c'est-à-dire qu'un entonnoir ordinaire de mines, dans l'hypothèse du cône tronqué, égale les onze sixièmes du cube de la ligne de moindre résistance. Ainsi, si le fourneau qui doit le produire a 3,25 mètres de ligne de moindre résistance, et qu'il soit situé dans un terrain présumé exiger 6,34 kilogrammes de poudre par double mètre cube, le solide de l'entonnoir égalant $\frac{11}{6} (3,25)^3$, la charge, dans ce cas, sera égale aux $\frac{11}{6}$ 34,33, réduits en doubles mètres cubes et multipliés par 6,34.

187. Comme il est rare de trouver des terrains parfaitement homogènes, ou dont les couches ne varient pas en poids et en ténacité à mesure qu'on s'éloigne de la surface, on considère chaque couche en particulier (notamment pendant le travail de la construction des puits); on en pèse une mesure quelconque, et on trouve un terme moyen, que l'on assimile, pour la qualité, à une des espèces de terrain mentionnées au tableau du numéro 184. Si l'on vouloit une plus grande précision, on feroit jouer un fourneau d'épreuve dans le terrain dont il s'agit; on le chargeroit conformément au volume de son entonnoir et à la qualité présumée des terres; et si le résultat étoit trop fort ou trop foible, on rectifieroit en conséquence la première estimation.

188. Avant l'introduction des nouvelles mesures on avoit une formule très-commode pour trouver promptement la charge des fourneaux ordinaires. On faisoit le cube de la ligne

de moindre résistance, exprimée en pieds; on divisoit ce cube par dix, en en retranchant tout simplement le dernier chiffre: le reste exprimoit en livres la quantité de poudre dont il falloit charger les fourneaux, en les supposant toutefois situés dans un terrain exigeant douze livres de poudre par chaque toise cube des terres de son entonnoir. Lorsque le terrain exigeoit davantage, quatorze, quinze, seize, dix-huit, etc., livres, on ajoutoit à la première quantité trouvée un sixième, un quart, un tiers, un demi, etc., et on avoit toujours, à très-peu près, une charge pareille à celle qu'on auroit calculée comme on vient de le dire (n.° 186). PLANCHE IX.

189. Les mineurs ayant eu besoin, pour fixer les bases du calcul des charges, de déterminer la figure des entonnoirs de mines, et le plus grand nombre ayant adopté le cône tronqué de préférence aux figures tenant du paraboloïde, nous pourrions, d'après ce que contiennent nos quatre avant-derniers numéros, nous dispenser de parler du paraboloïde et du paraboloïde tronqué, sous la figure desquels on considère aussi les entonnoirs. Mais comme l'adoption exclusive d'une figure de la part de qui que ce soit doit être motivée, nous allons chercher et donner l'expression de la solidité des deux paraboloïdes dont il s'agit; et la comparaison que nous en ferons avec celle du cône tronqué mettra à découvert le motif qui a fait choisir ce dernier.

190. Hypothèse du paraboloïde. Soit le paraboloïde BEA: le foyer est en D, et la ligne de moindre résistance $CD =$ le rayon $CA = R$. Nous supposons l'inconnue, ou la hauteur $CE, = x$. Un paraboloïde quelconque est égal à la moitié du cylindre de même base et de même hauteur: donc, en continuant de représenter par m le rapport de la circonférence Fig. 75.

*

au diamètre, le paraboloïde en question $= \frac{m R^2 x}{2}$. Il s'agit maintenant de déterminer x, et l'on aura la valeur du paraboloïde. Nommant p le paramètre de la parabole, $DE = \frac{1}{4}p$. Mais $DE = x - R$; donc $\frac{1}{4}p = x - R$, et $p = 4(x - R)$. Par la propriété de la parabole, le carré d'une ordonnée quelconque égale le paramètre multiplié par l'abscisse; donc $R^2 = p\,x$. Mettant dans cette dernière expression, en place de p, sa valeur $(4x - 4R)$, on aura $R^2 = (x(4x - 4R))$ $= 4x^2 - 4Rx.\ x^2 - Rx = \frac{R^2}{4}$. Donc $x = \frac{R}{2} \pm \sqrt{\frac{1}{4}R^2 + \frac{1}{4}R^2}) = \frac{R}{2} \pm \frac{1}{2}R\sqrt{2} = R\frac{(1 \pm \sqrt{2})}{2}$. Maintenant que nous connoissons x, en substituant dans l'expression du paraboloïde, qui est $\frac{m R^2 x}{2}$, la valeur positive de x, nous aurons $\frac{m R^2}{2} R\frac{(1+\sqrt{2})}{2} = \frac{m R^3}{4}(1+\sqrt{2})$. Or observons que le nombre 2 étant égal à la fraction $\frac{288}{144}$, dont le numérateur ne diffère que d'une unité du carré de 17, on peut prendre, sans erreur sensible, la fraction $\frac{289}{144}$ pour le nombre 2, et conséquemment $\frac{17}{12}$ pour racine de 2. Mettant cette valeur de $\sqrt{2}$, et celle de $m = \frac{22}{7}$, dans l'expression $\frac{m R^3}{4}(1+\sqrt{2})$ du paraboloïde, on aura $\frac{22}{7}\frac{R^3}{4}\left(1+\frac{17}{12}\right)$ $= \frac{22}{7}\frac{R^3}{4}\left(\frac{12+17}{12}\right)$. Effectuant les opérations arithmétiques, la solidité du paraboloïde égale $\frac{319}{168}R^3$.

191. Comparons cette solidité à celle du tronc de cône. En nommant P le paraboloïde et T le cône tronqué, on a

$P : T :: \frac{319R^3}{168} : \frac{11R^3}{6} :: 1914 : 1848$. Donc $P = \frac{T1914}{1848} = T + \frac{66}{1848}$ de $T = T + \frac{1}{28}$ de T; c'est-à-dire que le cône tronqué est d'un vingt-huitième de sa valeur plus petit que le paraboloïde. Ce dernier étant donc plus grand que l'autre, voilà pourquoi ceux qui ont fixé les quantités de poudres nécessaires pour enlever chaque toise cube de terre des entonnoirs paraboloïdaux, ne se sont pas rencontrés dans leur fixation avec celles du tableau n.° 184, quoiqu'ils se soient accordés dans la totalité des charges. Ainsi $\frac{11R^3}{6} \times$ par une quantité de poudre prise dans ce tableau, égalant $\frac{319R^3}{168} \times$ par la quantité de poudre qui correspondroit à l'autre quantité dans un tableau dressé dans la supposition du paraboloïde, il reste à juger si la formule la plus simple n'est pas celle qu'on doit préférer. Mais poursuivons.

192. Quelques auteurs, en admettant la forme paraboloïdale des entonnoirs, ne comprennent point dans le paraboloïde le solide des terres situées au-dessous du plan qui passe par le foyer, perpendiculairement à l'axe. Il nous paroît, comme à eux, que les terres du fond de l'entonnoir n'en font partie qu'en apparence, et que l'espèce de cul de chaudron, situé au-dessous du centre du fourneau, est plutôt une suite de l'enfoncement de la moitié de la charge au-dessous de la ligne de moindre résistance, et un effet de la compression des terres, qu'un véritable affouillement. L'entonnoir d'une mine peut donc être considéré comme un paraboloïde tronqué $BMNA$ (fig. 75).

On aura sa solidité en déterminant celle du paraboloïde MEN, que l'on retranchera de $\frac{319\,R^3}{168}$, qui exprime la solidité du paraboloïde BEA. Or on sait que le paraboloïde MEN égale le cercle $MD \times \frac{1}{2}\,DE$, et que la double ordonnée qui passe par le foyer D égale le paramètre, lequel est quadruple de DE. Donc $MD = 2\,DE$. Mais en conservant les mêmes dénominations que précédemment, on a $DE = CE - DC = x - R = R\left(\frac{1+\sqrt{2}}{2}\right) - R = \frac{R+R\sqrt{2}-2R}{2} = \frac{R\sqrt{2}-R}{2} = R\left(\frac{\sqrt{2}-1}{2}\right)$. Donc $2\,DE$, ou $MD = R\,(\sqrt{2}-1)$, et cercle $MD = m\,(R(\sqrt{2}-1))^2 = m\,(2\,R^2 - 2\,R^2\sqrt{2} + R^2) = m\,(3\,R^2 - 2\,R^2\sqrt{2}) = m\,R^2\,(3-2\sqrt{2})$. Multipliant cette dernière expression de cercle MD par la valeur de $\frac{1}{2}\,DE$, on aura pour la solidité du paraboloïde retranché, $m\,R^2\,(3-2\sqrt{2})\,R\left(\frac{\sqrt{2}-1}{4}\right) = \frac{m\,R^3}{4}\,(3-2\sqrt{2})\,(\sqrt{2}-1)$ $= \frac{m\,R^3}{4}\,(5\sqrt{2}-7) = \frac{m\,R^3\,(5\,(1.414)-7)}{4} = \frac{m\,R^3}{4}$ $(7.070-7) = \frac{m\,R^3}{4}\,0.070 = m\,R^3 \times 0.0175 = \frac{22}{7} \times 0.0175\,R^3$ $= 0.055\,R^3$. Retranchant cette valeur de celle du grand paraboloïde $= \frac{319\,R^3}{168}$, on aura pour expression du paraboloïde tronqué $\frac{319\,R^3}{168} - 0.055\,R^3 = 1.843\,R^3 = \frac{1843}{1000}\,R^3$, que l'on peut réduire, vu que le rapport de 22 à 7 est un peu trop grand, à $\frac{184}{100}\,R^3 = \frac{46}{25}\,R^3$. Donc le paraboloïde

tronqué égale les $\frac{46}{25}$ du cube de la ligne de moindre résistance.

Il est bon d'observer qu'il n'en est pas du paraboloïde tronqué comme du tronc de cône, c'est-à-dire que le rayon de la petite base du paraboloïde tronqué n'est pas la moitié du rayon de la grande. En effet, on vient de voir que $MD = R(\sqrt{2} - 1) = R \times 0.414$, qui est moindre que $\frac{1}{2}R = \frac{BC}{2}$; d'où il suit que le cône tronqué dont se servent les mineurs est en partie inscrit et en partie circonscrit au paraboloïde tronqué.

193. Comparons la solidité de ces deux figures. Nommant T le paraboloïde tronqué et t' le tronc de cône, on a $T : t' :: \frac{46}{25}R^3 : \frac{11}{6}R^3 :: 276 : 275$. Donc $T = \frac{t' 276}{275} = t' + \frac{t'}{275}$. Cette équation indique que le tronc de cône est de $\frac{1}{275}$ de sa valeur plus petit que le paraboloïde tronqué. Cette différence étant très-peu de chose, on peut donc prendre indifféremment les entonnoirs pour des troncs de cônes ou pour des paraboloïdes tronqués, et par conséquent s'en tenir à la formule $\frac{11}{6}R^3$, ainsi qu'aux fixations du tableau n.° 184.

SECTION X.

Considérations sur la charge des fourneaux accolés.

194. Les fourneaux accolés exerçant concurremment leur action sur une partie du solide qui sort de l'entonnoir oblong

PLANCHE X. qu'ils produisent en commun, ils n'exigent pas autant de charge que les fourneaux isolés. On voit en effet que les
Fig. 76. fourneaux O et P, qui ne sont distans entre eux que d'une fois seulement leur ligne de moindre résistance, et dont les entonnoirs, considérés en particulier, se recroisent d'une quantité égale au rayon de leur grand cercle, n'ont besoin d'étendre chacun leur action, pour former leur entonnoir commun, que jusqu'au plan qui passeroit par IK, et qui seroit perpendiculaire à la base des entonnoirs. La question se réduit donc à connoître le solide commun et à chercher sa charge pour retrancher la moitié de cette charge de celle qu'il faudroit pour produire isolément chaque entonnoir.

195. Indiquons d'abord comment on trouve le solide commun. Soient $ABCD$ et $ECFG$, deux cônes tronqués, sous la figure desquels nous considèrerons les deux entonnoirs qui se recroisent d'une quantité DE, égale au rayon de leur grande base, mais qui pourroient se recroiser plus ou moins. Pour avoir le solide commun $CDKEI$, on le conçoit partagé en deux parties égales par un plan CIK mené par le sommet C et perpendiculairement à la base, c'est-à-dire
Fig. 77. parallèlement aux deux axes. La moitié de ce solide commun est représentée par $FABG$: or $FABG$ est la différence des deux pyramides $LABG$ et $LABF$, que l'on obtient en prolongeant les côtés du tronc de cône jusqu'à leur rencontre, et en tirant les droites AL et BL. Cherchons l'expression de ces deux pyramides. La solidité de la première égale $ABG \times \frac{1}{3} DL$. En abaissant du sommet L, une perpendiculaire sur le prolongement de PF, on a la hauteur de la seconde pyramide, et la solidité

$= ABF \times \frac{1}{3} LV = ABF \times \frac{1}{3} DP$. Le solide commun égale donc la différence de ces deux solidités répétée deux fois, c'est-à-dire $= 2 (ABG \times \frac{1}{3} DL - ABF \times \frac{1}{3} DP)$, que l'on convertit en doubles mètres cubes.

196. Ayant le solide commun, comment a-t-on la charge des deux fourneaux accolés? Représentant le solide commun par S, et par C la quantité de poudre exigée par la nature du terrain pour enlever un double mètre (1bis) cube, on a $CS =$ la charge du solide commun, et par conséquent $\frac{CS}{2} =$ la quantité de poudre à soustraire de la charge qui conviendroit à chacun des deux fourneaux O et P, s'ils n'étoient point accolés.

197. Pour avoir la solidité de la pyramide $LABF$, à base hyperbolique, ainsi que de celle $LABG$, qui a le segment AGB pour base, on considère ces bases comme composées d'une infinité d'élémens; on prend l'expression d'un élément quelconque, et intégrant, on obtient la surface de la base de chacune. Une fois ces bases connues, on obtient les solidités par la facilité de déterminer les hauteurs. On a ainsi le solide commun de deux entonnoirs qui se recroiseroient d'une quantité quelconque du rayon de leur grand cercle; et c'est par cette méthode et par celle de la note 12 (voyez cette note), vérifiées l'une par l'autre, qu'on a trouvé les résultats suivans pour des recroisemens depuis un quart du rayon jusqu'à un rayon trois quarts.

198. *Tableau des résultats des calculs faits pour trouver, en parties du cube de la ligne de moindre résistance, le solide commun à deux entonnoirs de mines, considérés comme cônes tronqués, qui se recroisent d'une certaine quantité de leur grand cercle.*

QUANTITÉ DU RECROISEMENT, exprimée en parties du rayon.	La ligne de moindre résistance étant généralement représentée par R, on a trouvé que les solides communs aux deux entonnoirs valent, savoir :	
	Calculés exactement.	Calculés par approximation suffisante pour la pratique.
$= \frac{1}{4}$	..... $\frac{2}{125} R^3$	..... $\frac{2}{125} R^3$
$= \frac{1}{3}$	..... $\frac{4}{125}$	..... $\frac{3}{100}$
$= \frac{1}{2}$	..... $\frac{87}{1000}$	..... $\frac{9}{100}$
$= \frac{2}{3}$	..... $\frac{177}{1000}$	..... $\frac{17}{100}$
$= \frac{3}{4}$	..... $\frac{247}{1000}$	..... $\frac{6}{25}$
$1 =$	..... $\frac{7}{15}$	..... $\frac{7}{15}$
$1 \frac{1}{4}$	..... $\frac{77}{100}$	..... $\frac{19}{25}$
$1 \frac{1}{3}$	..... $\frac{22}{25}$	..... $\frac{22}{25}$
$1 \frac{1}{2}$	..... $\frac{1105}{1000}$	..... $\frac{11}{10}$
$1 \frac{2}{3}$	..... $\frac{167}{125}$	..... $\frac{13}{10}$
$1 \frac{3}{4}$	..... $\frac{36}{25}$	..... $\frac{36}{25}$

199. Quoiqu'il y ait une infinité de recroisemens possibles, depuis le point où les circonférences des grands cercles des entonnoirs de deux fourneaux accolés cessent d'être tangentes, jusqu'à celui où elles sont près de se confondre, nous avons cru ne devoir présenter que les divisions ci-

dessus, attendu qu'elles sont le plus en usage, et qu'elles peuvent presque suffire dans la pratique. Nous aurions même pu omettre les deux premières; car la charge du solide commun ne commençant à être de quelque considération que quand les entonnoirs se recroisent de la moitié des rayons de leurs bases supérieures, on peut fort bien ne pas tenir compte des recroisemens moindres.

200. La préférence que nous avons dû donner à l'hypothèse qui considère les entonnoirs comme cônes tronqués, nous dispense de donner sur les solides communs de deux entonnoirs, considérés comme paraboloïdes, un tableau analogue à celui du numéro 198.

201. Lorsqu'on a une suite de fourneaux accolés dont on veut connoître la charge, il faut observer que la formule $\frac{CS}{2}$, donnée au numéro 96, ne s'applique qu'aux fourneaux extrêmes, et que CS exprime exactement la quantité de poudre qu'il faut retrancher de la charge complète de chacun des fourneaux intermédiaires.

202. La ligne de moindre résistance étant la ligne essentielle dans l'usage des mines, nous avons eu soin d'exprimer constamment en parties du cube de cette ligne les solidités des entonnoirs et des portions d'entonnoirs. Aussi la simplicité de nos formules nous fait-elle regarder comme inutile de joindre à ce traité des tables de charges. Nous croyons au surplus qu'il est bon que chacun les fasse soi-même; et si ce n'est pas amusant, au moins c'est facile.

SECTION XI.

Des charges des globes de compression.

203. Les globes de compression sont, comme on l'a déjà dit, des fourneaux que l'on surcharge, moins cependant pour leur faire produire de vastes entonnoirs, que pour opérer de violentes commotions intérieures, par lesquelles on tente de renverser du plus loin possible les défenses souterraines de son ennemi.

204. L'effet extérieur de ces globes a des limites que la nature semble avoir fixées. Il paroît, d'après quelques expériences, que lorsqu'une charge a produit un entonnoir d'un diamètre sextuple de la ligne de moindre résistance, une charge, quelque plus forte qu'elle soit, n'en produit pas un beaucoup plus grand. Cette délimitation naturelle du plus grand diamètre des entonnoirs des globes, si elle est vraie, peut provenir de ce que les parois des entonnoirs formant, dans ce cas, à partir du centre des fourneaux, une rampe qui n'est inclinée à l'horizon que de dix-huit degrés, le fluide de la poudre, qui s'est fait une vaste ouverture pour s'échapper, glisse alors sur la surface de cette rampe sans la pénétrer ni l'entamer davantage. [13]

205. Il n'en est pas de même de l'effet intérieur des globes. Celui-ci augmente sans cesse avec les charges, de manière que si l'on pouvoit les augmenter sans bornes, la commotion destructrice se propageroit à des distances infinies. Mais comme il n'est au pouvoir de personne d'ajouter indé-

finiment aux charges, l'effet intérieur que produisent celles dont on peut disposer a nécessairement des bornes très-circonscrites.

206. Nous avons dit (n.° 161) que pour qu'un vide quelconque fût respecté par le jeu d'un fourneau voisin, chargé pour produire un entonnoir ordinaire, il falloit tenir ce vide éloigné du fourneau jouant, de deux fois ou une fois trois quarts sa ligne de moindre résistance. L'expérience, en déterminant cet écartement des fourneaux entre eux afin qu'ils ne s'entre-culbutent point, a donc fixé, pour les fourneaux ordinaires, l'étendue de leur effet intérieur à plus d'une et à moins de deux fois leur ligne de moindre résistance. Or cet effet agissant au-delà de l'aplomb du bord de l'entonnoir où finit l'effet extérieur, il est naturel d'inférer que dans les globes de compression l'effet intérieur s'étend aussi plus loin que l'effet extérieur, quelle que soit d'ailleurs la grandeur du rayon des entonnoirs qu'ils produisent. On a effectivement éprouvé que des galeries, éloignées du foyer des globes de quatre fois leur ligne de moindre résistance, avoient été culbutées, tandis que le rayon des entonnoirs de ces mêmes globes atteignoit tout au plus trois fois cette ligne. Mais l'effet intérieur d'un fourneau, ordinaire ou surchargé, agit-il toujours autant en contre-bas du foyer des poudres qu'à l'horizon? non : l'expérience a encore prouvé que lorsque l'effet horizontal s'étendoit, par exemple, à quatre fois la longueur de la ligne de moindre résistance, l'effet vertical de haut en bas pouvoit s'arrêter à deux fois, et n'alloit jamais à trois fois cette ligne. Il n'est pas douteux que l'accourcissement progressif des rayons destructeurs des globes, à mesure qu'ils s'éloignent du sens horizontal pour

se rapprocher du vertical de haut en bas, ne provienne de la plus grande ténacité qu'ont les couches inférieures du terrain par rapport aux couches supérieures. Il pourroit donc paroître intéressant de connoître la gradation que suit cet accourcissement dans les divers terrains. Mais si l'on sait que, dans le terrain le plus défavorable, l'effet en contre-bas du foyer d'un fourneau extraordinairement chargé s'étend à deux fois seulement sa ligne de moindre résistance, qu'a-t-on besoin d'en savoir davantage? Si ce fourneau a seulement quatre mètres (12^{pieds}) de ligne de moindre résistance, son effet ira détruire des galeries enfoncées de douze mètres (36^{pieds}) au-dessous de la surface du terrain; et il n'en existe jamais, ou il en existe rarement, à cette profondeur.

207. L'effet extérieur ayant des limites qu'il ne peut guère franchir, et l'effet intérieur n'en ayant point, il résulte que, lors même que le premier de ces effets peut encore augmenter, les deux n'ont rien de commun dans les proportions de leur augmentation ou de leur décroissement par rapport aux charges, et que la connoissance de l'étendue de l'un ne conduit pas à fixer l'étendue de l'autre. Cependant, comme l'on sait par expérience qu'en général l'effet intérieur se manifeste au-delà de l'aplomb du bord des entonnoirs; que cet excédant, dans les fourneaux ordinaires, équivaut à près de la moitié de leur ligne de moindre résistance, et à cette ligne entière dans des globes qui produisent des entonnoirs d'un diamètre sextuple de leur ligne de moindre résistance; il ne s'agit que de pouvoir produire, par les globes, des entonnoirs de grandeurs données, pour savoir étendre leur commotion intérieure, sinon très-exac-

tement du moins approximativement, à des distances aussi données. Voici d'abord ce que l'on sait là-dessus d'après Bélidor. PLANCHE X.

208. Lorsque les entonnoirs des globes ne doivent pas avoir un diamètre beaucoup plus grand que quatre fois leur ligne de moindre résistance, Bélidor détermine ainsi qu'il suit les charges qui doivent les produire. Sachant, ce qu'un fourneau ordinaire exigeroit de poudre s'il étoit situé dans le même terrain que le globe proposé, il dit: la charge du fourneau ordinaire est à celle qu'il faudra au globe, comme le cube du rayon du fourneau ordinaire est au cube du rayon du globe. Bélidor entend par le rayon d'un fourneau, ou d'un globe de compression, la ligne menée du centre des poudres au bord des entonnoirs: mais cette dénomination ne convenant pas à cette ligne, nous l'appellerons rayon d'explosion. Comme ce rayon est toujours l'hypothénuse d'un triangle rectangle, et les deux côtés de l'angle droit étant connus, puisque l'un est la ligne de moindre résistance et l'autre le rayon du grand cercle de l'entonnoir, le rayon d'explosion est aussi censé connu. Employons les figures pour nous faire mieux comprendre. Soit le globe *B*, de 6,50 mètres (20^{pieds}) de ligne de moindre résistance, dont il s'agisse de déterminer la charge pour lui faire produire un entonnoir quadruple de cette ligne, c'est-à-dire de vingt-six mètres (80^{pieds}) de diamètre: comparons-lui le fourneau ordinaire *A*, auquel nous donnerons aussi 6,50 mètres (20^{pieds}) de ligne de moindre résistance, quoiqu'il puisse avoir plus ou moins sans détruire les rapports que nous voulons établir. Nous aurons cette proportion: la charge du fourneau *A* est à la charge cherchée du globe *B*, comme le cube du rayon

Fig. 78.

Fig. 79.

d'explosion AC du fourneau, est au cube du rayon d'explosion BD du globe. Pour avoir le cube de ces rayons, il est clair qu'il faut d'abord en connoître la longueur. Or, en considérant AC et BD comme les hypothénuses respectives des triangles rectangles AEC et BFD, nous trouverons l'hypothénuse $AC = 9{,}192$ mètres ($28{,}284^{\text{pieds}}$), et l'hypothénuse $BD = 14{,}534$ mètres ($44{,}721^{\text{pieds}}$). Ainsi, la proportion peut se poser ainsi : la charge du fourneau A est à la charge du globe B, comme le cube de 9,192 est au cube de 14,534. Calculant maintenant la charge du fourneau A, supposé, ainsi que le globe, dans un terrain exigeant 6,34 kilogrammes (12^{livres}) de poudre par double-mètre cube, et faisant le cube des nombres 9,192 et 14,534, nous aurons la proportion définitive $399 : x :: 776{,}658 : 3070{,}12$; laquelle proportion donne 1565 pour valeur de x, c'est-à-dire 1565 kilogrammes (3218^{livres}) de poudre pour la charge du globe B. Cette charge produisant un entonnoir d'un rayon supérieur FD de treize mètres (40^{pieds}), on pourroit croire, d'après ce que nous avons dit au numéro précédent, que la commotion destructive dans le sens horizontal devroit s'étendre à plus de 16,25 mètres (50^{pieds}); mais nous croyons qu'il est plus sûr de ne compter que sur 15 mètres (45^{pieds}) tout au plus, attendu que le rayon d'explosion BD du globe n'ayant lui-même qu'environ cette longueur, il est très-naturel de penser que la commotion extérieure, bien qu'elle puisse s'étendre horizontalement plus loin, n'est plus assez active, passé cette distance, pour opérer le renversement des galeries maçonnées, ni même de celles simplement étayées en bois. D'ailleurs, nous devons faire observer ici que l'action des globes de compression ne peut avoir autant

d'effet sur des galeries qui se présentent à eux sous des directions perpendiculaires ou foiblement inclinées, que sur celles qui leur présentent le flanc. On a expérimenté, en effet, que la commotion des globes opéroit le renversement de ces dernières galeries sur une très-grande étendue, et qu'à des distances égales les autres ne perdoient que quelques parties de leur fond. Cette différence dans les effets est très-facile à concevoir et n'a pas besoin d'être expliquée. On doit donc, lorsqu'on se propose de faire jouer un globe de compression, le placer de manière que les galeries contre lesquelles on le dirige lui fassent sensiblement front, ou, si cela ne se peut, le charger tellement que son rayon d'explosion ait au moins une longueur égale à la distance à laquelle on le croit des galeries à détruire.

S'il s'agissoit, par exemple, d'un globe de compression d'une ligne de moindre résistance représentée par R, située à d de distance du fond d'une écoute, on régleroit sa charge de manière à lui faire produire un rayon d'explosion *égal à la distance* horizontale à laquelle on voudroit que s'étendît la commotion destructive, c'est-à-dire à d de distance, supposé toutefois qu'on ne voulût qu'endommager foiblement l'écoute et non la détruire sur une grande longueur. Prenant, dans ce cas, pour termes de comparaison la charge et le rayon d'explosion connus d'un fourneau ordinaire censé situé dans le même terrain et, si l'on veut, de même ligne de moindre résistance que le globe, on fera cette proportion, en nommant l le rayon d'explosion du fourneau ordinaire; $l^3 : d^3 ::$ la charge du fourneau ordinaire est à la charge cherchée. Or, la charge du fourneau ordinaire étant connue, si on la représente

par c, la proportion sera, $l^3 : d^3 :: c : x$; l'inconnue égale donc $\frac{d^3 c}{l^3}$, ce qui donne la charge du globe en kilogrammes de poudre, c exprimant des kilogrammes.

Au lieu de se borner à endommager légèrement l'écoute (ce que nous supposerons qu'on pouvoit faire par un fourneau surchargé de 6.5o mètres (20^{pieds}), dont le rayon d'explosion auroit égalé quinze mètres (45^{pieds}), on-auroit pu vouloir la renverser sur une grande étendue, en portant le rayon d'explosion du globe à une longueur un peu plus grande que trois fois la ligne de moindre résistance, au lieu de deux fois et demie. Mais ce globe ayant toujours pour ligne de moindre résistance la même quantité R, y a-t-il une formule qui détermine la quantité de poudre nécessaire pour lui faire produire un rayon d'explosion un peu plus grand que trois fois la ligne de moindre résistance? Bélidor n'a rien fourni de satisfaisant à cet égard: il a dit seulement que dès qu'il s'agissoit de produire un entonnoir dont le diamètre eût près de cinq fois la ligne de moindre résistance du globe, la charge alors ne pouvoit plus être calculée de la même manière que lorsqu'elle ne doit produire que des entonnoirs moindres. Par exemple, si l'on vouloit produire un entonnoir d'un diamètre sextuple d'une ligne de moindre résistance quelconque, il faudroit, suivant Bélidor, (qui pourtant ne fonde son assertion sur aucun raisonnement), il faudroit charger le globe d'autant de fois 45o kilogrammes (900^{livres}) de poudre, que sa ligne de moindre résistance contiendroit de fois un mètre (3^{pieds}) courant. Par conséquent un globe de 3,25 mètres (10^{pieds}) exigeroit 1462 kilogrammes (3000^{livres}) de poudre; un globe de 4,875 mètres (15^{pieds})

en exigeroit 2193 kilogrammes (4500^{livres}), et un globe de 6,50 mètres (20^{pieds}) en exigeroit 2925 kilogrammes (6000^{livres}). Maintenant, si l'on se donne la peine de calculer les charges par la méthode expliquée précédemment, on verra, en supposant les globes dans un terrain exigeant 6,34 kilogrammes (12^{livres}) de poudre par double-mètre cube, que le globe de 3,25 mètres (10^{pieds}) de ligne de moindre résistance n'en demanderoit que 558 kilogrammes (1140^{livres}), ce qui est bien peu par rapport à 1462 (3000^{livres}); que celui de 4.875 mètres (15^{pieds}) n'en demanderoit que 1877 kilogrammes (3825^{livres}), ce qui diffère encore beaucoup de 2193 (4500^{livres}), et qu'enfin celui de 6,50 mètres (20^{pieds}) en exigeroit 4460 kilogrammes (9100^{livres}), quantité bien supérieure à 2925 (6000^{livres}). Ces différences nous ont paru si singulières qu'elles nous ont porté à chercher une autre méthode de calculer les charges des fourneaux surchargés, méthode que nous expliquerons dans une note.[14] Nous nous bornons à observer *ici*, que les globes de 3,25 mètres (10^{pieds}), de 4,875 mètres (15^{pieds}), et de 6,50 mètres (20^{pieds}), chargés pour produire des entonnoirs sextuples, étendront sûrement leur effet intérieur horizontal, autour de leur foyer, jusqu'à quatre fois leur ligne de moindre résistance; que, par conséquent, les galeries qui leur présenteroient le flanc en seroient atteintes à cette distance; mais que celles qui ne leur présenteroient que des pointes ne seroient exposées à être sérieusement endommagées qu'autant qu'elles ne seroient éloignées des globes que d'une distance égale à la longueur de leurs rayons d'explosions respectifs, c'est-à-dire de 11 mètres (32^{pieds}), 16 mètres (48^{pieds}) et 21 mètres (64^{pieds}) environ.

209. Les charges qui produisent des entonnoirs sextuples ne sont pas les plus fortes qu'on puisse employer. On peut encore les augmenter, non pour accroître l'évasement des entonnoirs, ce qu'on n'obtiendroit peut-être pas, mais pour étendre la commotion destructive des globes à plus de quatre fois leur ligne de moindre résistance. Mais quelle est la proportion suivant laquelle cette extension auroit lieu d'après l'augmentation progressive des charges? C'est ici le point où, relativement à la charge et aux effets des globes de compression, s'arrête la science des mines; et si l'on veut un jour en savoir davantage, il faut de nouveau avoir recours aux expériences: elles apprendront, enfin, ce que l'assiégé doit craindre et l'assiégeant espérer des globes de compression.

SECTION XII.

Manière de calculer la capacité à donner aux coffres des poudres.

210. Il est avantageux qu'un coffre à poudre soit cubique et contienne exactement la quantité de poudre exigée pour tel ou tel fourneau. Plus rassemblée, la poudre s'enflamme plus instantanément; et lorsqu'au lieu de la peser il suffit d'en emplir un coffre, il est plus aisé à ceux qui surveillent et dirigent le travail de la charge, d'empêcher les abus et les infidélités.

211. Lorsque la poudre étoit encore pesée à la livre, et les dimensions des coffres exprimées en pouces, voici comment

on fixoit ces dimensions. On savoit qu'une livre de poudre forme un volume de vingt-sept pouces cubes : on multiplioit donc le nombre de livres de poudre donné, par 27; on extrayoit la racine cubique du produit, et cette racine étoit le côté du coffre mesuré intérieurement. 1000 livres de poudre, par exemple, donnoient 27000 pouces cubes, et 30 pouces courans pour côté du coffre.

212. Actuellement que la poudre se pèse au kilogramme, et que les dimensions des coffres doivent s'exprimer en centimètres, la manière de trouver le côté d'un coffre est encore la même. Il suffit de savoir seulement qu'un kilogramme de poudre peut être considéré, sans erreur sensible, comme formant un volume de 1094 centimètres cubes. *Ainsi*, si on avoit à déterminer le côté d'un coffre auquel on voudroit faire contenir exactement 399 kilogrammes de poudre, on multiplieroit 399 par 1094; on auroit 436506; on extraieroit la racine cube de ce produit, et cette racine, de près de 75,9, donneroit 75 centimètres 9 millimètres pour côté intérieur du coffre. Cette dimension est un peu forte ; mais elle n'augmente pas autant la charge qu'elle la diminueroit si on ôtoit seulement un millimètre. Au reste, la différence en plus ou en moins n'est pas d'un kilogramme sur 399.

213. Le même motif qui nous a décidés à ne pas joindre des tables de charges à cet ouvrage, nous détermine aussi à n'y point insérer de tables des dimensions des coffres à poudre. Chacun peut les faire soi-même.

SECTION XIII.

Tracé des mines sur le terrain, et détermination de la pente des galeries.

214. EXPLIQUONS ceci par des exemples.

1.° Tracer sur le terrain.

PLANCHE X. Fig. 80. Soit à tracer la disposition de galeries de la figure 80. La première chose à faire est de chercher le prolongement de la capitale de l'ouvrage en avant duquel les galeries doivent être construites. Pour cela on plante un jalon *A* sur le sommet de l'angle saillant de l'ouvrage, un autre *B* sur le sommet de l'angle saillant du chemin couvert, et sur les deux autres on en aligne un troisième *X*, que l'on plante aussi avant vers la campagne qu'il est nécessaire. On tend ensuite un cordeau de *B* en *X*, et on mesure de *B* en *p* la longueur cotée au plan, en se servant pour cette opération de deux mesures que l'on rapporte alternativement au bout l'une de l'autre le long du cordeau. Arrivé au point *p*, on fait une marque au cordeau avec un crayon, et on fiche un piquet carré à ce point, de manière que la marque faite au cordeau batte sur la tête du piquet. On fait à la scie sur cette tête une coche qui soit bien dans la direction *BX*, et on rapporte la marque du cordeau sur le piquet par un point fait au crayon. On mesure ensuite les distances *ph* et *hq*; on plante des piquets aux points *h* et *q*, et on fixe les positions respectives de ces points par des marques, faites sur la tête des piquets, qui soient bien couvertes par le cordeau *BX*.

Ce cordeau est laissé dans sa position pendant les opérations suivantes. Pour tracer la transversale *c d*, qui coupe perpendiculairement la capitale, on peut s'y prendre de deux manières. La première, analogue au procédé qu'on emploie pour élever des perpendiculaires sur le papier, consiste à prendre sur *B X* deux points *y z*, également éloignés de *p*, et à décrire de ces points, avec un rayon arbitraire, les arcs *v v*. On fait ensuite passer un cordeau par les intersections de ces arcs, prolongés vers *r* et *t*, et on a la direction de la galerie *c d*. L'autre manière exige une très-grande équerre, faite en forme de triangle rectangle, dont les deux petits côtés aient, l'un huit mesures, équivalant chacune, par exemple, à 0,3 mètres (1 pied), l'autre six mesures, et le grand côté 10 : construite dans ces dimensions, on est sûr de sa justesse. Pour tendre un cordeau dans la direction *c d* au moyen de cette équerre, on en appuie le plus petit côté le long du cordeau *B X*, en observant de placer l'angle droit à hauteur de la marque faite avec le crayon sur la tête du piquet *p*; on dirige un cordeau le long du grand côté de l'angle droit de l'équerre, le plus exactement possible; on arrête le cordeau aux points *r* et *t*, et on a la direction *c d*. Cela fait, de la première ou de la seconde manière, on mesure les distances *p c* et *p d*; on fiche des piquets aux points *c* et *d*; on trace des coches sur la tête de ces piquets, suivant la direction donnée au cordeau *r t*, et on en trace une pareille sur la tête du piquet *p*, où il en est déjà une suivant la direction *B X*.

3. Le tracé de la transversale *n o*, des deux branches d'écoute *l i* et *m k*, et des communications *a b* et *f e*, n'offre rien de particulier à expliquer, puisqu'elles sont perpendiculaires à d'autres galeries. A l'égard des obliques *h i* et *h k*, *b c* et *e d*,

on voit que si les points *h* et *i*, par exemple, sont fixés par des piquets, et plus exactement encore par des marques faites sur la tête de ces piquets, il n'y a plus qu'à tendre un cordeau *s u* qui passe bien par ces marques, et à tracer sur la tête des piquets *i* et *h* des coches suivant la direction du cordeau *s u*. Il en est de même du tracé des autres obliques.

215. L'ordre dans lequel nous venons de tracer la disposition de galeries fait voir qu'en général on doit d'abord assurer les directions qui ne demandent que l'équerre, et que par cette marche les directions obliques deviennent très-faciles à déterminer.

216. Lorsqu'un tracé est fini, on peut, avant de commencer le nivellement qui sert à la détermination des pentes, placer des cadres à oreilles partout où il en faut; après quoi on enlève avec soin tous les piquets, dès lors inutiles, qu'on a été obligé d'employer pour faciliter les opérations du tracé.

217. Le plan qui sert à tracer les mines sur le terrain, n'a besoin de représenter chaque galerie que par la seule ligne qui marque sa direction, et la longueur de chaque ligne doit être cotée afin de dispenser de mesurer sans cesse avec le compas.

218. 2.° Déterminer la pente des galeries.

Servons-nous encore de la figure 80, et établissons d'abord que le sol de la galerie de contrescarpe sera de niveau avec le fond du fossé, et que les autres galeries iront en descendant vers celle de contrescarpe, afin que les eaux de filtration, s'il y en a, puissent s'épancher dehors. Cela posé, imaginons deux plans horizontaux passant, l'un sur le sol de la galerie

de contrescarpe, et l'autre par le point B, qui est le plus élevé du glacis. Supposons que l'intervalle entre ces deux plans soit d'un nombre de mesures quelconque, trente par exemple, et que le sol de la transversale $n\ o$, aux points l et m, doive être à vingt de ces mesures au-dessous des points correspondans de la surface du terrain. Plaçons maintenant un niveau d'eau en I, et déterminons les différences de niveau entre le point B et tous les points où le tracé de la disposition exige qu'on ouvre des puits. Supposons, enfin, que le point B étant de niveau avec le rayon visuel, ces différences sont telles qu'elles sont cotées à la figure.

Les puits l et m devant avoir vingt mesures de profondeur, et les points où ils doivent s'ouvrir étant de sept mesures au-dessous de B, il ne reste par conséquent que trois mesures de pente totale à distribuer uniformément sur la longueur développée de l'écoute brisée $l\ i\ h\ g$ ou $m\ k\ h\ g$. Cette longueur étant connue, on déterminera aisément la pente partielle à distribuer sur chaque portion $l\ i$, $i\ h$, $h\ p$, etc.: cela déterminé, on trouvera que la profondeur du puits i est de vingt mesures, plus une mesure pour la différence de niveau des deux points l et i, plus la valeur de la pente à distribuer entre ces deux mêmes points. On arrêtera semblablement la profondeur des puits h, p, B, etc., et de tout autre qu'on voudroit ouvrir intermédiairement pour faciliter et hâter l'exécution de la galerie. A l'égard de la transversale $n\ o$, si l'on vouloit lui donner une mesure de pente de q en l et de q en m, afin que les eaux n'y séjournassent point, on voit par la comparaison des cotes de nivellement qu'il ne faudroit creuser le puits q que de vingt et une mesures. Les parties $l\ n$ et $m\ o$ de cette transversale peuvent être conduites

Planche X. de niveau. La profondeur du puits p étant déterminée et la pente à distribuer de p en g connue, on fera en sorte de distribuer exactement cette même pente sur la longueur développée de chacune des galeries $pcba$ et $pdef$; ce qui est très-facile. Les choses ainsi réglées, les galeries, fussent-elles situées dans le terrain le plus susceptible d'imbibition, n'auront jamais d'eau sur leur sol, surtout si on y pratique des rigoles pour favoriser l'écoulement.

219. Dans les terrains humides, l'enfoncement au-dessous de la surface du terrain des galeries qui ont a supporter des dispositions de fourneaux, doit être un peu plus grand que la ligne de moindre résistance des plus gros fourneaux, afin que leurs rameaux ayant une pente déterminée vers la galerie, les eaux de filtration puissent s'y dégorger. C'est sur ce principe

Fig. 81. que la galerie AB, qui supporte une tige de fourneaux à trois étages, doit avoir son sol plus bas que le centre du gros fourneau C, de toute la pente à distribuer de F en G et de G en C. Ainsi, si la tige étoit tracée sur un terrain sensiblement de niveau, et que le fourneau C dût avoir vingt mesures de ligne de moindre résistance, le sol de la galerie AB, au point F, devroit être au-dessous de la surface correspondante du terrain, de vingt mesures plus la valeur de la pente dont nous venons de parler. Pour régler ensuite la pente montante du point F au fourneau D, dont on connoîtra la ligne de moindre résistance, comme l'on sait de combien on a déjà monté de F en G, on distribuera uniformément sur la longueur développée des rameaux GH IKD le reste de la différence de niveau entre le sol de la galerie AB et le centre du fourneau D. La pente montante à distribuer sur la longueur développée des rameaux HLM

NE pour arriver aux fourneaux *EE*, se règlera de la même manière.

On conçoit que la règle que nous venons d'établir peut être observée dans les terrains constamment secs, mais qu'elle n'y est point nécessaire.

220. Une observation qui peut trouver place ici, c'est que la longueur du bourrage des fourneaux se réglant sur leur ligne de moindre résistance (n.° 120), il est avantageux que, sur toute cette longueur, le rameau à bourrer n'ait que les plus petites dimensions qu'on puisse lui donner, c'est-à-dire 0,8 mètres (2^{pieds} 6^{pouces}) de hauteur sur 0,65 mètres (2^{pieds}) de largeur (n.ºs 4 et 6). Le bourrage, moins volumineux, en a plus de solidité, et son exécution exige moins de temps et de matériaux.

SECTION XIV.

Lever des mines à la boussole.

122. La boussole est trop connue pour en donner ici la description. C'est sur la propriété qu'a l'aiguille aimantée de se diriger, dans les limites d'un certain espace, vers le même point du nord, qu'est fondé son usage. Qui sait lever à la boussole les contours d'un chemin couvert, les sinuosités d'une rivière, etc., peut aussi s'en servir pour rapporter sur le papier les angles que forment les différentes directions des galeries de mines.

Les boussoles dont on se sert ordinairement pour lever, ont la forme d'un carré long, de 0,12 (4 à 5^{pouces}) sur 0,16 mètres (6 à 7^{pouces}).

PLANCHE X. Donnons un exemple de la manière dont on l'emploie pour lever un système quelconque de galeries de mines.

Fig 82 Soient les galeries $ABCDEF$, dont on veuille avoir le plan. En commençant à opérer au point A, on pose un des grands côtés de la boussole le long du pied droit AB de la galerie, ou suivant sa direction, et l'on tient note de l'angle que forme la direction Am de l'aiguille aimantée avec la direction de la galerie. On mesure ensuite la longueur AB, dont on tient également note, et on transporte la boussole au point B. Ayant placé le même côté de la boussole le long du pied droit BC, on s'assure de l'angle formé par la direction Bm de l'aiguille et celle de la galerie. On doit remarquer ici que cet angle tombe à gauche de la direction de la galerie BC, tandis qu'à la première station c'étoit à droite d'AB que se trouvoit l'angle. Cette particularité ne doit point s'oublier, et on en sent facilement la raison. Après avoir mesuré la galerie BC, on passe aux autres opérations, que l'on exécute d'une manière analogue aux précédentes, et il ne reste plus qu'à faire le plan demandé, sur une échelle quelconque.

Pour cela, on trace sur le papier une ligne am' représentant la direction de l'aiguille aimantée; on fait au point a, à gauche de am', un angle bam' égal à l'angle BAm, et on donne à ab autant de parties de l'échelle qu'on a trouvé de mesures correspondantes à la galerie AB. Cela fait, à l'extrémité b on mène parallèlement à am' une autre ligne bm' : cette ligne désigne encore la direction de l'aiguille aimantée; car, se tournant toujours vers le même point du nord, on peut, dans le petit espace qu'embrassent les opérations qui nous occupent, regarder toutes les directions de l'aiguille

comme parallèles, puisque ces directions prolongées ne se rencontreroient qu'à une distance infinie. On fait ensuite à droite de la ligne bm' un angle cbm' égal à l'angle CBm, et on porte sur bc le nombre de parties de l'échelle du plan, correspondant au nombre de mesures trouvé à la galerie BC. En procédant de la même manière pour les autres angles, on a une figure composée d'un même nombre de triangles semblables que celle formée par l'assemblage des galeries proposées. Or, comme il est géométriquement démontré que deux figures composées d'un même nombre de triangles semblables, sont elles-mêmes semblables, il en résulte que la suite des opérations qu'on a faites a donné la configuration exacte de l'ensemble des galeries ABC, etc.

222. Il arrive fréquemment, dans les places où il y a des mines, que, pour y faire quelques réparations, il est expédient d'ouvrir un puits sur un point quelconque de la longueur d'une galerie. Pour déterminer avec exactitude l'emplacement de ce puits sur la surface correspondante du terrain, il faudroit, si on ne connoissoit pas de procédé plus simple, et en supposant toutefois qu'on eût le plan des mines, faire quelques opérations analogues à celles que nous avons détaillées dans la section précédente, et si on n'avoit point de plan il faudroit commencer par en lever un. Mais voici un moyen qui, quand il peut être mis en usage, dispense de toutes recherches plus laborieuses. On se place dans la galerie au point où le puits à faire doit s'ouvrir, et on perce avec un *trépan* toute l'épaisseur des terres qui reposent sur le ciel ou la voûte de la galerie. Le point où le trépan paroît à la surface du terrain indique évidemment l'emplacement du puits.

Les mineurs ont des trépans pour toutes les natures de terrain; il en est en forme de gouge, de vrille, etc. Cependant, comme il ne peut y en avoir de propres à percer le roc, la pierre, ni même la terre mêlée de grosses roches, on sent que lorsqu'il s'agit de déterminer l'emplacement d'un puits au-dessus d'une galerie construite dans une de ces espèces de sol, on doit avoir recours aux opérations indiquées plus haut.

SECTION XV.

Nivellement des galeries de mines; description d'un nouvel instrument propre à niveler dans l'obscurité, et observations sur l'usage qu'on pourroit faire de cet instrument pour lever les galeries.

223. INDÉPENDAMMENT du lever des galeries pour en avoir la configuration, il faut encore le nivellement, pour savoir quel est leur enfoncement par rapport à la surface du terrain, et connoître les lignes verticales de moindre résistance des fourneaux auxquels elles conduisent. Les opérations du nivellement sont analogues à celles décrites pour déterminer les pentes. On imagine deux plans horizontaux, passant, l'un par le sol de la galerie de contrescarpe, et l'autre par le point le plus élevé du glacis: on nivelle les galeries; on cote les coups de niveau aux points remarquables; on donne des coups de niveau sur la surface du terrain aux points corres-

pondans, et on détermine ainsi l'épaisseur des terres comprises entre la surface du terrain et les points remarqués. Pour niveler les galeries on s'est quelquefois servi d'un niveau d'eau, et quelquefois aussi d'un niveau de maçon et d'une grande règle. Nous n'avons rien à dire sur l'emploi de ces instrumens; leur usage est connu. Observons seulement que, dans les mines, le premier est incommode, le second fatigant, tous les deux sujets à erreur, et que celui dont nous allons donner la description, plus susceptible de justesse, n'a les défauts ni de l'un ni de l'autre. PLANCHE X.

Pour se former une idée de cet instrument, qui a été exécuté en l'an 10 à Metz, et que les officiers de mineurs ont reconnu, par expérience, pouvoir être utile, que l'on s'imagine une roue $ABCD$, dont le diamètre a 0,50 (18^{pouces}); *Fig.* 83. la partie Am, 0,98 (3^{pouces}), et l'épaisseur du bois, 0,055 mètres (2^{pouces}). Cette roue, faite de bois sec et sain, doit être bien dégauchie, et la surface supérieure de ses rayons pA, pB, etc., s'araser avec celle de la roue. Sur le centre p de cette roue pivote une alidade qq, qui supporte à chacune de ses extré- *Fig.* 84. mités une lanterne qn, d'environ 0,16 mètres (6^{pouces}) de *Fig.* 85. hauteur. A 0,10 mètres (4^{pouces}) de leur base les deux lanternes sont coupées, parallèlement au plan de la roue, par une ligne à jour qui embrasse le tiers du contour de leur cylindre, de façon que, lorsque le plan de la roue est en position horizontale, les coupes des lanternes éclairées par des bougies, le sont aussi. Pour mettre en position horizontale le plan de la roue, on la place sur une table T, portée sur trois pieds, et au moyen *Fig.* 86. des trois vis v, qui lui sont adaptées, on exhausse tel ou tel *Fig.* 85. point de la roue, jusqu'à ce que le fil d'aplomb du niveau h corresponde à son centre p. L'instrument étant dès-lors bien

PLANCHE X. placé pour opérer, on a un voyant *Z*, sur la longueur du-
Fig. 87. quel peut glisser une lanterne plate, coupée par une ligne de feu horizontale, qui, comme la séparation des couleurs des voyans ordinaires, se met aisément dans la direction du rayon visuel passant par les coupes des deux lanternes *qn*. On voit, par cette description, que pour faire usage de ce *niveau de feu* le tout se réduit, à chaque station, à placer la roue bien de niveau.

224. La prudence commanderoit de s'abstenir de l'usage de la boussole, si l'on avoit quelques soupçons de l'existence de mines de fer dans le voisinage du lieu où l'on auroit un lever quelconque à faire; car la propriété du fer étant d'attirer l'aimant aussi bien que d'en être attiré, l'aiguille de la boussole seroit d'autant plus détournée de sa direction naturelle que la mine de fer seroit plus rapprochée du lieu des opérations. La direction de l'aiguille dans ce cas ne pouvant être constante, la boussole est trop fautive pour s'en permettre l'usage.

Par quoi suppléer à cet instrument dans le lever des mines, quand on ne peut s'en servir? par l'équerre, la fausse équerre, les cordeaux et la règle. Mais les opérations que nécessite un grand lever pouvant alors manquer de justesse, et ces opérations étant aussi fastidieuses que fatigantes dans des galeries où il n'est pas toujours facile de se placer commodément, nous proposons, pour remplacer avantageusement ces derniers instrumens dans tous les cas, et la boussole quand son usage est interdit par la présence présumée du fer, nous proposons, disons-nous, de graduer la roue ou le limbe de notre niveau de feu. Cet instrument auroit alors le double emploi de servir au nivellement et au lever des

galeries. Plaçons-le donc dans la position pour prendre l'angle formé par la rencontre de deux galeries, et nous aurons indiqué son usage dans le lever des mines. L'ayant placé, sans sa table et ses pieds, sur le sol, de manière que son centre corresponde à l'intersection de deux cordeaux tendus dans la direction du milieu des deux galeries, on dirigera son alidade dans la direction d'une de ces galeries, et l'on trouvera sur le limbe le nombre de degrés compris entre cette alidade et le diamètre ou rayon de la roue, qui correspond à la direction du milieu de l'autre galerie. Par ce moyen, on aura aussi exactement qu'avec la boussole l'ouverture de tel angle que ce soit.

FIN DE LA SECONDE PARTIE.

TROISIÈME PARTIE.

LE MINEUR A LA GUERRE.

SECTION PREMIÈRE.

Exposition et division du sujet.

225. Trois objets principaux feront la matière de cette partie. Nous considérerons le mineur, attaquant et défendant les places, appliquant son art à la défense de la fortification passagère, et exécutant des démolitions de tout genre. Chacune de ces trois opérations sera traitée avec toute l'étendue qu'elle mérite. Les détails relatifs à la dernière seront, autant que possible, appuyés de faits tellement choisis parmi ceux dont nous avons été les auteurs ou les témoins, que d'exemples ils deviennent des règles certaines à suivre ou des écueils à éviter. Pour cet effet nous ajouterons à l'énoncé des résultats obtenus, bons ou mauvais, des réflexions sur les moyens qui les ont produits; c'est-à-dire qu'après avoir parlé des charges, que nous avons très-souvent arrêtées par le seul tact de l'habitude ou par induction, nous les ramènerons à être déterminées par des calculs simples et sûrs. Il est entendu que nous ne parlons point ici d'explosions ordinaires, mais qu'il s'agit de celles par lesquelles on opère, sans travaux préalables, la destruction de magasins à poudre, de tours, de casemates, etc.

Les détails qui concernent l'application de l'art du mineur à la défense des ouvrages de campagne, seront également la relation raisonnée de ce que nous avons fait ou vu faire. Malheureusement il ne pourra en être ainsi de ceux relatifs à l'attaque et à la défense des places ; les siéges menés à leur fin dans la dernière guerre n'ayant point fourni de faits assez nombreux pour en composer un modèle de conduite qu'on puisse offrir à nos mineurs dans nos guerres à venir. Il nous faudra donc faire comme la plupart de ceux qui ont écrit sur les mines; supposer une place minée et attaquée par des mineurs, et écrire le journal de l'attaque et de la défense. Mais afin de ne pas être réduits à copier mot à mot ces auteurs, ce qui arriveroit si nous nous servions de l'un de leur système de défense souterraine, et aussi pour soumettre quelques vues nouvelles à des juges éclairés, nous employons un nouveau système de mines défensives, que nous croyons réunir à la fois la simplicité et la force.

Traitons successivement chaque division de notre sujet.

SECTION II.

De l'attaque et de la défense des places minées, et subsidiairement de la construction et des propriétés d'un système de mines défensives à un seul étage de fourneaux.

226. Quoique diverses expériences et le siége de Schweidnitz eussent dû convaincre les mineurs que les mines défen-

sives avoient tout à craindre des effets destructeurs des globes de compression, le major Mouzé est néanmoins le premier qui ait cherché à disposer les galeries et les rameaux de son système de manière à les dérober, autant que possible, à ces effets. Dans ce système, connu seulement en 1790, on voit (figure 47) combien son auteur a été soigneux d'éviter que ses galeries et rameaux ne présentassent le flanc aux effets des globes. On ne peut supposer la même intention au général Rugy. Son système, auquel on a travaillé au polygone de Verdun pendant plus de vingt ans, étoit en définitif, à l'époque où a paru celui du major Mouzé, tel qu'il est représenté à la même figure. Or il nous paroît évident que la considération du plus ou moins de prise qu'ont les fourneaux de l'assiégeant sur les galeries, petites ou grandes, de l'assiégé, suivant que ces galeries leur présentent le flanc ou la pointe, n'est entrée pour rien dans le tracé du général Rugy, puisque les rameaux de ses dispositions contre les têtes de sape sont perpendiculaires aux capitales des ouvrages qu'ils défendent. Les écoutes qui environnent ces dispositions protègent à la vérité les rameaux qu'elles renferment; mais elles leur servent de bases, ce qui est vicieux, et elles-mêmes ne sont point à l'abri d'être prises par le flanc. On ne hasarde donc rien de dire que de tous les systèmes de mines défensives, conçus par des François, celui du major Mouzé, le dernier en date, est le premier dans l'ordonnance duquel on ait songé à affoiblir les effets des globes de compression.[15] Mais, comme nous l'avons déjà remarqué (n.° 151), les galeries basses de ce système, proposées pour protéger les dispositions contre les têtes de sape et embarquer l'ennemi de bonne heure dans

une guerre d'aveugles et de chicanes, étant, sinon inexécutables, du moins d'une ressource très-problématique dans la défense, il en résulte que ces dispositions, si elles n'étoient pas autrement protégées, seroient bientôt anéanties par des globes. Ce côté foible du système de Mouzé tient, il faut le dire, à l'habitude, dont on a fait un principe, d'avoir plusieurs étages de fourneaux. Cette pluralité d'étages, admissible tout au plus quand l'assiégé n'avoit à se prémunir que contre des fouilles sourdes de la part de l'assiégeant, et qu'il pouvoit croire à la possibilité de faire sauter plusieurs fois le même terrain; cette routine, devenue règle, d'attendre l'ennemi à des profondeurs différentes, est sans contredit ce qui a ralenti les progrès de l'art du mineur, imprimé sur les conceptions de l'artiste le cachet de la foiblesse, et même quelquefois répandu sur elles le vernis du ridicule. On sait, en effet, ce que l'abus du compas et de la plume a fait proposer de projets extravagans par des hommes, d'ailleurs estimables et instruits, qui prétendoient pouvoir faire sauter vingt fois le même terrain, et même autant de fois qu'on le voudroit. Nous ne nous arrêterons point à démontrer le ridicule d'une pareille prétention: il nous suffira de prouver que, dans les dispositions à trois étages seulement, il n'y a que le troisième qui serve à quelque chose, et que les deux autres ne sont qu'un remplissage inutile. Qu'on jette les yeux sur la figure 88, qui représente la projection de trois étages de fourneaux, de 3,25 mètres (10^{pieds}), 4,875 mètres (15^{pieds}) et 6,50 mètres (20^{pieds}) de ligne de moindre résistance, disposés conformément aux règles établies, on verra que, conséquemment à ce qui a été dit à la section XI de la seconde partie, un globe de compression

G, placé de manière à ne rien craindre des effets des fourneaux *B* et *C*, et chargé pour produire un entonnoir d'un diamètre seulement quadruple de sa ligne de moindre résistance, enlèvera ces deux fourneaux, détruira celui *A*, et peut-être aussi la transversale *D* qui lui prête le flanc. C'est donc d'après la plus intime conviction de l'inutilité de plusieurs étages, que nous nous sommes décidés à n'en employer qu'un dans le système que nous allons soumettre au jugement du Comité de fortifications. Nous ne nous dissimulons pas qu'en n'établissant qu'une seule transversale à peu de distance de chaque saillant, nous renonçons à l'avantage de pouvoir commencer la guerre souterraine, d'aussi loin que dans la plupart des autres systèmes; mais si l'abandon de cet avantage nous en fait trouver un plus grand, dans un dispositif de rameaux et de fourneaux que les globes de compression ne peuvent détruire que par petites parties à la fois et par un travail obstinément contrarié, nous ne devons pas hésiter dans notre choix.

Passons à la manière de tracer notre système, et avertissons, que, ne devant avoir qu'un étage de fourneaux, nous lui faisons occuper le plus bas du terrain dans tous les cas où on le peut sans s'enfoncer démésurément au-dessous de sa surface, c'est-à-dire à plus de huit ou neuf mètres (24 à 27^{pieds}) sans trouver l'eau.

Tracé, construction, propriétés générales.

227. Supposons ici que le sol naturel en avant du front qu'on veut miner, soit à 8,50 mètres (25^{pieds} 6^{pouces}) au-dessus des plus hautes eaux, et qu'on veuille donner aux fourneaux du système huit mètres (24^{pieds}) de ligne de moindre résistance,

PLANCHE XI. Fig. 89. sans compter le massif des terres du glacis. Cela posé, on fait $PA =$ cinq mètres, et on fait passer par le point A la ligne BC perpendiculaire à la capitale; on fait $Av =$ huit mètres, et par le point v on mène DE parallèle à BC: ensuite on porte huit mètres de v en x et de v en y, et prenant xy pour base, on construit le triangle équilatéral xzy, de seize mètres de côté; on prend la distance vz, on la porte de z en t et de t en q, et on mène les lignes FG, HI et KL, parallèles à DE. Cela fait, on construit tous les triangles équilatéraux égaux à celui xzy, qu'on voit à cette partie de la figure, et leurs angles marquent les emplacemens des fourneaux. Le tracé des galeries et rameaux n'a besoin d'aucun détail. On a ainsi quatre rangs de fourneaux qui, devant occuper le plus bas du terrain, sont situés sur un même plan horizontal. On flanque cet appareil par des écoutes latérales, régnant sur le même plan que les fourneaux, et formant avec les cheminemens, d'où elles s'échappent, des angles de quarante-cinq degrés. Les dispositions en avant des places d'armes rentrantes sont tracées sur les mêmes principes. On ne leur donne ici que trois rangs de fourneaux; mais il faudroit leur en donner quatre si, l'angle du polygone étant fort ouvert, on prévoyoit que l'assiégeant dût se diriger sur le saillant de ces places d'armes. Les fourneaux en avant des branches du chemin couvert sont encore situés sur le même plan que les autres, et se tracent d'une manière analogue. Les plus rapprochés de la palissade ayant leur ligne de moindre résistance d'environ dix mètres (30 pieds), réductible à huit par le jeu des plus éloignés (voyez ci-après n.° 233), on mène, à quatorze mètres (42 pieds) de la crête du glacis, une ligne MN parallèle à cette crête, et on détermine d'abord

l'emplacement des deux fourneaux Q et N, destinés à enlever le terrain sur lequel se construisent les batteries de contre-flancs, ou à culbuter ces batteries s'il y a lieu. Sur le milieu de l'intervalle existant entre ces deux fourneaux, lequel répond à celui de la largeur du fossé opposé, on fait passer les communications RS; ensuite sur MQ, à partir de Q, on porte des distances de seize mètres (48^{pieds}), et on construit sur ces bases des triangles équilatéraux, dont les angles marquent les emplacemens des fourneaux destinés à reprendre la guerre souterraine quand les moyens sont épuisés sur les saillans, à bouleverser le terrain sur lequel s'établissent les batteries de brèche, etc. Les rameaux qui conduisent aux fourneaux du premier rang forment avec la galerie de contrescarpe des angles de soixante-dix à soixante-quinze degrés, et ceux qui conduisent aux fourneaux du second ont une longueur qui excède de quelques mètres celle de leur bourrage. D'autres galeries et rameaux, situés sous les places d'armes saillantes et le chemin couvert, sont dirigés vers le centre des fourneaux du second rang. On peut encore ajouter à cela des magasins à terre, où il convient d'en placer; des galeries d'escarpe, comme dans le système de Mouzé, et des communications $VXYZ$, composées de la caponnière VX, des galeries XY, et des demi-caponnières YZ.

228. Les galeries d'escarpe et de contrescarpe, dans notre système, existent comme dans celui de Mouzé. La première, qui ne peut avoir d'autre destination que de servir de point de départ pour se porter sous le fossé, au pied des escarpes et sous les logemens de l'ennemi sur les brèches, ne sauroit être mieux placée. La seconde, servant de base à un système

qui a pour but de faire durer la guerre souterraine jusqu'au moment où la contrescarpe est renversée à droite et à gauche des arrondissemens, ne sauroit non plus être placée plus avantageusement. Cette galerie, au reste, se convertit en casemates aux arrondissemens et aux angles rentrans des contrescarpes, pour servir de lieu de repos et de sûreté aux mineurs, ainsi que de dépôt aux outils et aux autres objets qu'on emploie pendant la défense. Il y en a de telles à Mayence, qui, lors du siége qu'y soutinrent les François en 1793, y furent de la plus grande utilité. Quand ces casemates ne sont plus tenables, les mineurs vont s'établir dans le souterrain construit à la gorge de chaque bastion et à celle de la demi-lune.

229. Les communications de la galerie de contrescarpe aux transversales, et ces transversales elles-mêmes, sont construites en grandes galeries.

Les cheminemens qui conduisent aux fourneaux des dispositions en avant des places d'armes saillantes, sont construits, savoir, en demi-galeries depuis la transversale jusqu'au-delà du pailler des fourneaux du second rang, à partir de la transversale, et le reste en grands rameaux.

Les quatre cheminemens qui conduisent aux fourneaux les plus avancés des dispositions en avant des places d'armes rentrantes, sont construits en demi-galeries jusqu'au second rang de fourneaux, et le reste en grands rameaux. Les quatre autres cheminemens sont construits en totalité en grands rameaux, à l'exception de celui duquel s'échappe une écoute oblique, et qui est construit en demi-galerie jusque passé le pailler de cette écoute.

Les écoutes obliques qui flanquent ces diverses dispositions

sont de même dimension que les cheminemens d'où elles s'échappent.

Les rameaux qui conduisent aux fourneaux occupant le dessous de l'emplacement des batteries de contreflancs, sont des plus petites dimensions.

Les cheminemens qui conduisent aux fourneaux les plus avancés vis-à-vis les faces des ouvrages, sont construits en demi-galeries jusque passé les rameaux obliques qui mènent aux fourneaux les plus rapprochés, et le reste, ainsi que ces derniers rameaux, sont construits en grands rameaux.

Les cheminemens en capitale sous les places d'armes saillantes sont des demi-galeries. Tous les autres cheminemens sous ces places d'armes et sous ce chemin couvert sont de grands rameaux.

230. Les divers cheminemens de notre système étant sans coudes, il est nécessaire, pour assurer le bourrage et n'être pas obligé de l'étendre au-delà d'une fois et demie la ligne de moindre résistance des fourneaux, il est nécessaire, disons-nous, si ces cheminemens sont en maçonnerie, de pratiquer dans leurs pieds-droits des rainures de deux mètres en deux mètres (de toise en toise), et de 0,2 mètres (8^{pouces}) de large et de profondeur. Ces rainures recevront des bois en travers, qui consolideront le bourrage. Si les cheminemens sont en bois, on se bornera à assujettir les châssis par deux tringles au lieu d'une, la première un peu au-dessous du chapeau, et la seconde un peu au-dessus de la semelle. Tous les châssis ainsi liés et faisant corps, chacun d'eux pourra servir d'arc-boutant à chaque portion du bourrage, lequel aura toute la solidité désirable.

231. L'introduction du mineur ennemi dans les ramifica-

PLANCHE XI. tions d'un système quelconque de mines défensives étant possible, nous nous proposons de rendre cette possibilité moins inquiétante pour le nôtre, en masquant les débouchés des écoutes obliques, et ceux des cheminemens parallèles aux capitales, par des portes glissant dans des coulisses, comme les représentent les figures 90, 91, 92 et 93. Nous établissons deux autres portes tournant sur des gonds, à chaque rencontre des communications de la galerie de
Fig. 89. contrescarpe avec les transversales : la première de celles-ci s'ouvre de *R* en *A*, et l'autre de *R* en *S*. Nous en plaçons encore une autre en *A*, au milieu de chaque transversale. Cette dernière et celles qui s'ouvrent de *R* en *A*, ferment par des verroux qui s'adaptent à volonté sur l'une ou l'autre face de ces portes. Toutes ces portes, tant celles glissant dans des coulisses que celles tournant sur des gonds, ont 0,08 mètres (3^{pouces}) d'épaisseur; sont percées de créneaux pour faire le coup de pistolet, et sont recouvertes, celles dont les verroux peuvent être déplacés, d'une plaque de tôle sur chacune de leurs faces, et celles dont les verroux sont fixes, d'une seule plaque sur la face exposée à l'ennemi.

232. Ne pouvant nous dissimuler que la plupart des cheminemens qui conduisent à des fourneaux sont d'une longueur à faire craindre que l'air ne s'y vicie au point de les rendre inhabitables, voici, pour remédier à cet inconvénient, le meilleur moyen qui se soit offert à notre esprit: c'est de donner lieu à des courans d'air dans tous ces cheminemens par des coups de trépan horizontaux[16], qui les lient deux à deux, quand le terrain le permet; ou bien, quand le terrain se refuse à cette perforation, d'y suppléer par des rameaux qu'on bourre ensuite, après y avoir construit

des espèces d'évents en maçonnerie, d'environ 0,2 mètres (8^pouces) de haut et de large. Ces coups de trépan, ou ces évents, existeroient vers le pied du glacis pour lier les deux plus grandes écoutes obliques de chaque côté des dispositions sur les saillans : ils lieroient, deux à deux, les cheminemens parallèles aux capitales des mêmes dispositions, un peu en avant du second rang de fourneaux, en comptant des transversales ; ceux des dispositions des places d'armes rentrantes, un peu en arrière de ce même rang; et, enfin, ceux vis-à-vis les faces des ouvrages, à hauteur de l'extrémité des rameaux obliques. Nous croyons ce moyen préférable à celui qu'on emploie quelquefois, et qui consiste à donner des coups de trépan verticaux, ou à ménager de petits regards au-dessus des galeries, à l'emplacement des puits ouverts pendant la construction. PLANCHE XI.

233. Si ce n'étoit le massif des terres du glacis, tous les fourneaux situés en avant du chemin couvert auroient huit mètres (24^pieds) de ligne de moindre résistance : mais quoique cette ligne devienne plus longue à mesure que les fourneaux se rapprochent de la palissade, nous n'avons pas cru que cet allongement dût nous obliger à écarter davantage entre eux les fourneaux de chacun des derniers rangs, que ceux du premier ; parce que nous ne croyons pas que la ligne de moindre résistance verticale des fourneaux des derniers rangs doive servir à régler leurs charges respectives après que ceux des rangs précédens ont joué. (Voyez la figure 94, qui est une coupe suivant la ligne *PZ* du plan.) Il est clair que si les fourneaux *A*, *B*, *C* et *D* jouoient successivement dans l'ordre qu'on vient de les nommer, celui *A* formeroit l'excavation *a b c d*, et meur- Fig. 89.

troit les terres autour de son entonnoir, à une distance égale à une demi-fois la ligne de moindre résistance Ap ou jusqu'en ef, comme cela a lieu dans les terrains d'une ténacité moyenne. Or, le massif $efba$ ayant perdu sa ténacité et n'équivalant plus qu'à un massif tenace égal à sa moitié $efhg$ (n.° 120), ce seroit sur la ligne inclinée Bi qu'on devroit régler la charge du fourneau B, et non sur la ligne verticale Bk.* Toutefois, si on considère que le fourneau B agit sur une surface inclinée, qui, d'après maintes observations, a besoin d'une moindre impulsion pour céder qu'une surface horizontale, lorsque d'ailleurs cette dernière surface cède en même temps, il paroîtra sans doute démontré que la charge des fourneaux du premier rang, s'ils jouent les premiers, suffira aux suivans, et que ceux-ci, si la pente du glacis n'excède pas de beaucoup la pente ordinaire, recombleront les entonnoirs des autres, et produiront néanmoins, à la surface du terrain, des excavations pareilles aux entonnoirs ordinaires, sauf qu'ils seront moins évidés. Mais on a vu (n.os 159 et 160) que ceci, loin d'être un mal, étoit un bien.

Une autre raison qui nous a déterminés à espacer uniformément nos fourneaux, c'est que, quoique nous en ayons marqué quatre rangs, par exemple, en avant des places d'armes saillantes, nous ne prétendons pas pour cela que ces fourneaux aient des positions fixes, mais, au contraire, qu'on puisse les changer suivant les circonstances. On conçoit en effet qu'il est avantageux, lorsqu'un fourneau surchargé

* Ici ces deux lignes sont sensiblement égales; mais on reconnoît à la simple vue qu'il n'en est pas de même des lignes Cl et Cm du fourneau C, et encore moins des lignes Dn et Do du fourneau D.

de l'ennemi, ou toute autre cause, a détruit un ou plusieurs fourneaux d'un rang quelconque, de pouvoir les placer en arrière de la limite de destruction, et toujours de manière qu'ils agissent à la fois vers les entonnoirs ouverts en avant d'eux et sur la surface du terrain. Or les rameaux sans coudes que nous avons adoptés se prêtent, on ne peut mieux, à la prompte réconstruction des fourneaux détruits.

234. Voilà le tracé de notre système et les détails que nous avons dû donner sur sa construction. On peut remarquer, si nous avons réussi à nous faire comprendre, que nos vues principales ont été, 1.° de présenter constamment des pointes aux effets des globes de compression, afin de les atténuer le plus possible; 2.° d'occuper le plus bas du terrain pour ne pouvoir être pris par les dessous; 3.° d'avoir, sans galeries gênantes et coûteuses, des courans d'air qui assainissent les galeries; 4.° de n'avoir point de bourrages coudés, afin de pouvoir employer la souris porte-feu et profiter des avantages attachés à son emploi; 5.° de ménager plusieurs chemins courts et faciles pour se porter vers les entonnoirs quelconques ouverts en avant, et en disputer la jouissance à l'ennemi; 6.° de ne point donner aux fourneaux de positions fixes, afin que la destruction d'un bout de rameau n'empêche pas de tirer parti du reste; 7.° enfin, dès que la guerre souterraine est commencée, de la continuer sans lacunes jusqu'au renversement de la contrescarpe. Les détails dans lesquels nous allons actuellement entrer, sur l'attaque et sur la défense, feront juger jusqu'à quel point nous avons approché de notre but.

Attaque et défense.

235. De toutes les manières d'arriver de la troisième parallèle sur la crête du chemin couvert, celle qu'indique la partie gauche de la figure 89 est une des plus simples que puisse choisir l'ennemi quand le front attaqué n'est pas défendu par des mines. Mais, malgré cette simplicité, il est aisé de s'apercevoir que, lorsque des feux souterrains peuvent arrêter l'assiégeant à chaque pas, il lui seroit impossible de franchir l'espace qui le sépare encore du terme où tendent ses efforts, si, n'ayant point égard à ce qui se passe sous ses pieds, il vouloit continuer sa route en marchant sur des volcans. La perte d'un grand nombre d'hommes, le découragement de toutes les troupes employées au siége, leur défection peut-être, seroient les suites inévitables d'une pareille résolution. Il faut donc, quand les places sont minées, que l'assiégeant appelle ses mineurs. Ceux-ci, aiguillonnés par l'importance des services qu'ils vont rendre, fiers que les progrès de l'attaque doivent désormais rouler sur eux, convaincus, malgré l'obscurité qui couvre leurs combats et leurs dangers, que l'œil de ceux dont ils briguent le suffrage et dont ils recherchent l'estime les suit et les contemple, ils accourent, pénètrent dans le sein de la terre, y cherchent, la foudre à la main, l'adversaire qui les attend avec la foudre; le joignent, demeurent seuls et long-temps aux prises avec lui; en triomphent enfin, et s'enorgueillissent d'autant plus après la victoire qu'on ne sauroit leur contester qu'elle ne soit le fruit du vrai courage, du sang-froid joint à la valeur.

Les mineurs assiégés n'ont pas moins de titres à la gloire:

quoiqu'ils cèdent dans la lutte qui s'établit entre eux et leurs adversaires, il est beau de les voir arrêter seuls, même assez loin de leur champ de bataille, la marche jusque-là trop rapide de l'assiégeant. Dès qu'on les devine, ils inspirent la terreur. L'imagination se les représente, dans les antres profonds où ils se tiennent, préparant les foudres dont on craint d'être frappé : la peur naît avec le soupçon du danger. C'est en vain que l'intrépidité la plus exaltée voudroit le braver et franchir l'obstacle ; efforts inutiles : il faut s'arrêter en-deçà et attendre qu'une poignée d'hommes ait renversé cet obstacle, et, par un travail lent, pénible, dangereux, exécuté ce qu'une armée ne peut entreprendre ; exemple bien frappant de la supériorité de l'industrie sur la force. Cependant une lutte ténébreuse, une lutte de quelques hommes, commence. Le défenseur, à qui de graves inconvéniens défendent de se servir d'armes d'aussi longue portée que son antagoniste, est dédommagé de la petitesse des siennes par les positions que l'art, qui prévoit, observe, calcule et règle tout, a déterminées et disposées à l'avance. Son oreille attentive est fixée sur tous les points par où l'ennemi peut s'avancer. Si celui-ci est entendu, c'en est fait de lui : un volcan caché, qu'il soupçonne sans pouvoir l'éviter, détruit son travail, l'engloutit lui-même ; et pourtant nul indice extérieur n'avertit ses amis de son infortune. Est-il assez heureux pour s'être frayé un sentier que n'ait pu dépister l'active surveillance du défenseur ? Content de se manifester par un effet quelconque, il entasse en grande quantité l'agent terrible qui dans ses mains est plus terrible encore, l'embrase, rétrécit le théâtre où combat son ennemi, agrandit le sien à proportion, et se prépare ainsi les moyens de

pénétrer plus avant. Mais le défenseur ne lui abandonne pas sans autre discussion le poste qu'il vient de perdre. Rejeté en arrière par une force irrésistible, il se reporte en avant pour pouvoir se servir de ses armes courtes, et porte des coups d'autant plus sûrs qu'il sait où les diriger, et que pour le moment son ennemi ne peut s'y soustraire. Tel est le début de la guerre souterraine : sa continuation et sa fin présentent cent fois la même chose. C'est toujours, de la part de l'attaquant, précaution et persévérance ; de celle du défenseur, surveillance et activité, et de tous deux, patience et bravoure. Enfin l'assiégé, repoussé mais non vaincu, a la satisfaction de s'avouer que pour prolonger la durée de sa résistance il a manqué d'armes et non de cœur.

Passons maintenant à une description plus détaillée, plus technique, qui précise toutes les circonstances des opérations que nous venons d'esquisser.

236. Un assiégeant intelligent, qui sait combien les approches d'une place minée doivent être différentes de celles d'une place qui ne l'est pas, ne manque jamais de régler la marche de son attaque sur la connoissance qu'il a pu acquérir de la nature et de l'étendue des mines de la place qu'il assiége : il exécute donc sa troisième parallèle assez loin des mines les plus avancées pour n'en avoir rien à craindre, et assez près d'elles pour pouvoir les combattre. Cette parallèle achevée, il suspend la marche de ses autres cheminemens extérieurs, et se repose sur ses mineurs du soin de lui en faciliter l'exécution, en les chargeant de renverser les obstacles qui s'y opposent actuellement. Ce sont les travaux de ces mineurs que nous allons décrire, en même

temps que les manœuvres du mineur assiégé. Nous n'avons pas besoin de prévenir que des deux manières d'agir qui s'offrent à l'assiégeant, de s'armer de fourneaux ordinaires, comme au siége de Berg-op-zoom, ou de fourneaux surchargés, comme à celui de Schweidnitz, nous adopterons la dernière: sa supériorité, prouvée par les faits, donne l'exclusion à l'autre.

Supposons donc que l'objet de l'attaque et de la défense, dont nous allons détailler les opérations, soit la demi-lune de la figure 89, construite à la moderne sur un front d'hexagone, et que sa défense souterraine soit établie sur des mines disposées à notre manière: cela posé, imaginons que l'assiégeant, ayant une idée générale des mines de l'assiégé, a exécuté la troisième parallèle à 48 mètres (24^{toises}) du premier rang de fourneaux des mines de la défense, et que ce soit de là que partent ses mineurs pour aller attaquer ces mêmes mines, cause des lenteurs et des contrariétés que vont désormais éprouver ses travaux découverts. Voici la suite des opérations de ce qu'on appelle la guerre souterraine, de cette guerre si peu connue, dit-on, et qu'on dit néanmoins si propre à prolonger la défense des places.

237. Le mineur assiégeant partira des points A, et poussera des rameaux AB, AC et AD, longs de 32 mètres (16^{toises}), à l'extrémité desquels il construira les fourneaux B, C, D, auxquels il donnera la plus forte ligne de moindre résistance que les localités lui permettront, c'est-à-dire huit mètres (24^{pieds}) dans l'hypothèse présente. Il les chargera ensuite pour leur faire produire des entonnoirs d'un diamètre quadruple de cette ligne, et les fera jouer tous les trois à la fois. Remarquons d'abord que ces fourneaux

sont placés de la manière la plus judicieuse par rapport à leur éloignement de la parallèle, et des mines contre lesquelles ils sont dirigés : ils sont assez loin de la parallèle pour ne lui occasioner d'autre dommage que celui qui peut résulter de la chute d'une partie des terres lancées hors des entonnoirs ; assez près des écoutes et des autres cheminemens souterrains de l'assiégé, pour nuire à quelques-uns d'eux, et pas assez pour donner l'éveil au mineur ennemi par le bruit du travail de ceux qui les exécutent. En effet, les terres tombées dans la parallèle, étant promptement enlevées par des ouvriers laborieux, n'y séjourneront pas assez long-temps pour qu'on puisse regarder comme un grand mal de ne pouvoir s'en garantir : l'extrémité d'une écoute et celle d'un cheminement seront rompues, et le travail n'aura pas été entendu ; car, d'après des observations que nous avons faites avec soin il y a au plus deux ans, le bruit du travail dans les terres serrées, telles que peuvent être celles qui se trouvent à huit mètres (24^{pieds}) de profondeur, ne se transmet pas à plus de treize à quatorze mètres (39 à 42^{pieds}), quelque peu de soin qu'apporte l'un pour éviter le bruit et quelque précaution que l'autre prenne pour l'entendre. A l'égard du but de chacun de ces fourneaux, on peut reconnoître que celui *C* a bien plus pour objet d'attirer, de partager l'attention du mineur assiégé, que d'être le premier d'une série de globes s'avançant dans la même direction ; que celui *B* manifeste le dessein de combattre de près et de s'introduire, furtivement ou à force ouverte, dans les mines de la défense, si l'occasion s'en présente ; et qu'enfin celui en *D* annonce le projet, plus modeste, d'éviter les rencontres, de côtoyer cauteleusement les obs-

tacles, et de ne s'offrir au danger que le plus tard possible.

Chargés comme nous l'avons dit, ces fourneaux produiront des entonnoirs dont l'évasement à la surface du terrain sera marqué par le plus petit des cercles tracés autour; le cercle suivant marque la limite de l'effet intérieur : on voit par conséquent que le bout de la première écoute oblique de gauche et le fourneau 3 seront détruits. Voilà la première opération du mineur assiégeant; parlons maintenant de l'assiégé.

Pour être parfaitement sur ses gardes et pouvoir à la fois observer et combattre, il aura chargé à l'avance les fourneaux 1, 3 et 5, et se sera établi en surveillance dans toutes les écoutes obliques et près des fourneaux non chargés 2 et 4. N'ayant pu entendre, ni conséquemment retarder le travail de son adversaire, voici ce qu'il fera après l'explosion des trois globes : il retirera une partie du bourrage du fourneau 3, dont la charge est perdue; il lui substituera une forte fougasse a''; il chargera les fourneaux 2 et 4, et préparera trois autres fougasses *b*, *c* et *d*. Le temps que l'ennemi emploiera à couronner les entonnoirs de ses globes et à établir des communications des uns aux autres et à la parallèle, laissera à l'assiégé celui d'exécuter tout ce travail. Dès qu'il saura ses entonnoirs couronnés et le mineur assiégeant occupé de nouvelles fouilles, il fera jouer les fougasses *a*, *b* et *d*, et se mettra aux écoutes en arrière de leur bourrage. Il portera le feu en même temps au fourneau 1; peu après à celui 4, et enfin à celui 2 et à la fougasse *c*. Ces explosions successives, tendant à recombler les entonnoirs des globes, porteront l'épouvante et le désordre parmi les travailleurs, détruiront les

nouveaux apprêts du mineur assiégeant, et le convaincront des contrariétés qui l'attendent. Quoiqu'il soit à peu près certain que pour le moment ce dernier ne cherchera point à poursuivre sa marche en partant de l'entonnoir du globe *C* ou des entonnoirs des fourneaux 2 et 4, l'assiégé manqueroit de prudence s'il ne se tenoit constamment aux écoutes près du bourrage de ces fourneaux et de celui de la fougasse *a*, et s'il ne chargeoit à tout événement les fourneaux 7 et 8; il ne negligera donc point ces précautions, s'il veut pouvoir se livrer, sans distraction, à la défense des points sur lesquels l'assiégeant dirigera véritablement ses efforts.

L'attaque va maintenant se diviser en deux parties, lesquelles prendront les dénominations de droite et de gauche par rapport au défenseur : nous allons les suivre l'une et l'autre, en commençant par la dernière.

Aussitôt après le jeu du fourneau 1 et des fougasses *b* et *c*, qui aura obligé l'assiégeant à réparer le couronnement de l'entonnoir du globe *B*, et son mineur à faire de nouvelles dispositions, le mineur assiégé se tiendra aux écoutes de toutes parts, en se réservant d'agir d'après le travail de son ennemi, qu'il est désormais sûr d'entendre.

Le mineur assiégeant, très-embarrassé, mais forcé de prendre un parti conforme à ses premières vues, c'est-à-dire de chercher les galeries de la défense pour les détruire ou y pénétrer, partira des points *E* et *F* pour aller à la rencontre des galeries qui ont fourni les fougasses *b* et *c*, et du point *G* pour, en se dirigeant vers *H*, éviter ces mêmes galeries, et établir, s'il est possible, le globe *H*. Mais on voit d'abord que, bientôt entendu, les camouflets *x* et *y* culbuteront ses rameaux partant de *E* et de *F*, et que,

par la même raison, son rameau *GH* sera aussi culbuté par le camouflet *z*.

Toutefois prêtons-lui une intention fondée sur la connoissance qu'il a de la profondeur à laquelle existent les mines de la défense : supposons qu'il fasse deux rameaux au-dessus l'un de l'autre, le premier à quatre mètres (12^{pieds}) seulement de profondeur, et l'autre au plus bas du terrain, c'est-à-dire à huit mètres (24^{pieds}); qu'il ne pousse vivement celui-ci qu'après que celui-là a été culbuté, réparé, et culbuté de nouveau par les camouflets *z* et *&*; et qu'enfin il établisse, charge et fasse jouer le globe *H*. Après ce qu'il lui en a coûté pour en venir là, on peut bien lui accorder ce succès. Le voilà donc dans un nouvel entonnoir, mais n'ayant obtenu, de ce qu'il se proposoit que la destruction des fourneaux 6 et 10 et d'une portion de la dernière écoute oblique. Quant à son introduction dans les galeries ennemies, il en est aussi éloigné que jamais. En effet, l'assiégé, pour n'avoir aucune inquiétude à cet égard, doit, dès qu'il soupçonne le mineur assiégeant en mesure de pénétrer dans les parois de l'entonnoir de son globe, construire et charger la fougasse *e*, et y mettre le feu, ainsi qu'au fourneau 2′, lequel annulle celui 7 et sa charge. Il doit également pratiquer et charger les deux fourneaux 10′ et 19, et faire jouer le premier si le mineur assiégeant tente de pénétrer dans la dernière écoute oblique ou le cheminement voisin; ou faire jouer le second si l'ennemi pousse un rameau *IK*, par exemple, pour continuer d'aller en avant. Comme il est assez probable que l'assiégeant prendra ce dernier parti, le mineur assiégé fera sauter le fourneau 19, qui détruira le rameau en question; après quoi, prévoyant que l'ennemi se jettera dans

son entonnoir, il fera en sorte d'avoir la fougasse *f* et le fourneau 15 à faire jouer aussitôt que le mineur assiégeant sera soupçonné travaillant dans cet entonnoir.

Avant ou après ces dernières explosions, si elles ont lieu, le mineur assiégeant réfléchira sans doute que l'entonnoir du fourneau 19 est trop près de l'extrémité des écoutes venant de la galerie de contrescarpe, pour qu'il puisse, en partant de cet entonnoir, cheminer, sans être entendu, assez avant pour établir un globe destructeur d'une portion de ces écoutes. Ne pouvant donc se servir de cet entonnoir dans ce dessein, le seul parti qu'il ait à prendre c'est de partir de l'entonnoir du globe *H*, et de venir en placer un autre au point *L*; ce qu'il peut faire sans être entendu, puisque ce point est à quinze mètres (45^{pieds}) de l'extrémité des écoutes qui fournissent les fourneaux 20 et 21. Ce globe étant préparé, il le chargera de manière à ce que, produisant un grand effet, il reste pourtant, entre son entonnoir et la contrescarpe, assez d'espace pour donner lieu à un quatrième globe qui renverse cette dernière. Cette considération le déterminera donc peut-être à ne charger le globe *L* que pour lui faire étendre son effet intérieur à vingt-quatre mètres (73^{pieds}), comme il est marqué à la figure. Remarquons, en passant, qu'à une attaque dirigée contre un des bastions l'établissement de ce globe ne se feroit pas sans contradiction comme ici. Quoi qu'il en soit, le globe *L* ayant joué et détruit les fourneaux 20 et 21, ainsi que le bout de l'écoute oblique de droite de la disposition de la place d'armes rentrante voisine, le mineur assiégé chargera, comme fougasse, le fourneau 22, y mettra le feu incontinent, ainsi qu'aux fougasses *g*, *h* et *i*, et se tiendra aux écoutes en arrière de

leur bourrage. Il chargera en même temps les deux fourneaux accolés 23 et 24, et ceux isolés 25, 26 et 27. Tous ces fourneaux devant jouer pour enlever l'emplacement des contre-batteries et des batteries de brèche, on y mettra le feu au moindre bruit du travail souterrain de l'ennemi. Supposons donc, pour abréger, que des tentatives quelconques de la part de l'assiégeant ont provoqué leur explosion, et que l'assiégé, redoublant de surveillance et d'activité, est aux écoutes partout, et qu'il a même retiré une partie du bourrage de ses rameaux obliques pour être plus à portée d'entendre venir son adversaire: que va faire maintenant ce dernier, ayant devant lui cet énorme entonnoir continu? Entreprendra-t-il de le combler pour y asseoir ensuite ses batteries? Ce travail est-il praticable? et s'il l'est, peut-on songer à l'exécuter, sachant que l'assiégé a encore les moyens de le détruire? non, sans doute; et on doit concevoir que tant que l'ennemi jouit de sa galerie de contrescarpe, tout travail qui n'a pas pour but de la culbuter est contraire aux progrès de l'attaque. Il est donc de toute nécessité que le renversement de la contrescarpe précède l'établissement des batteries de brèche et des contre-batteries: mais, pour l'opérer, que d'obstacles, de peines, de dangers! Ce n'est rien pour l'assiégeant, après le couronnement de l'entonnoir continu, de le voir en partie bouleversé par les fougasses *k*, *l*, *m* et *n*, et d'être réduit à le rétablir; c'est l'exécution d'un rameau et d'un globe quelconque *M* ou *N*, qui est vraiment difficile, rebutante et meurtrière. L'établissement du globe *H*, pratiqué dans les mêmes circonstances à peu près, en est la preuve, et nous dispense de rapporter ici les contrariétés que le mineur assiégeant éprouvera dans son nouveau

travail, et combien de fois ce travail sera détruit et recommencé. Accordons-lui la constance et le courage nécessaires pour triompher de tous les obstacles, de tous les dangers, et consentons qu'il ait opéré par un globe le renversement de la contrescarpe : où aura-t-il placé ce globe? voilà ce qu'il nous reste à examiner de cette partie de l'attaque. De tous les emplacemens offerts à l'établissement d'un globe, depuis le point *M* jusqu'au point *N*, le premier est le pire, et le meilleur est le second. En effet, si le globe est en *M*, l'intérieur de son entonnoir sera encore long-temps inquiété par le mineur assiégé, et il faudra que l'assiégeant engage une nouvelle guerre pour s'en débarrasser, ou qu'il attende sa sécurité de l'épuisement des moyens de son ennemi. Si au contraire le globe est en *N*, son effet destructeur s'étendant assez loin vers la place d'armes rentrante, les retours offensifs, toujours possibles à la vérité de la part du mineur assiégé, seront peu redoutables pour l'assiégeant. Or ce dernier globe ne présentant pas plus de difficultés d'exécution que tout autre et étant infiniment plus avantageux pour l'attaque, il faut bien admettre que l'assiégeant, ayant égard à ces motifs, lui donnera la préférence.

Reprenons l'autre partie de l'attaque où nous l'avons laissée.

Nous avons dit que la position du globe *D*, par rapport aux mines de la défense, déceloit dans l'assiégeant l'intention d'éviter, aussi long-temps que possible, tout engagement avec le mineur assiégé. La longueur des branches du chemin couvert de la demi-lune, qui laisse un grand intervalle entre sa disposition de fourneaux et celles des places d'armes rentrantes collatérales, autorise cette intention, et rend probable la marche que nous supposerons avoir été suivie à

cette partie de l'attaque. On voit conséquemment que les directions dans lesquelles l'assiégeant a poussé les rameaux qui conduisent à ses globes *O* et *P*, n'ont pas permis au mineur assiégé d'en entendre le travail; que l'entonnoir du globe *O* n'a été soumis qu'à l'action peu préjudiciable du fourneau 28; et que si ce n'étoit qu'il a fallu enfin aborder les écoutes venant de la galerie de contrescarpe, l'entonnoir du globe *P* n'auroit eu à souffrir que des effets également peu dangereux du fourneau 29 et de la fougasse *r*. Mais la proximité de ce dernier entonnoir et des écoutes en question l'ayant soumis à l'action des trois fougasses *o*, *p* et *q*, il en résulte que jusqu'ici la partie de l'attaque qui nous occupe ne diffère de la première qu'en ce qu'elle a épargné au mineur assiégeant les difficultés qui auroient accompagné l'établissement de son globe *O*, s'il l'eût placé comme celui *H*. A l'égard du reste des opérations, il est visible qu'à partir du moment où le globe *P* a joué, l'assiégeant n'a plus retiré aucun avantage de sa marche, puisque les fourneaux accolés 30 et 31, ceux isolés 32, 33 et 34, et les fougasses *s*, *t*, *u* et *v*, ont pu agir contre lui de la même manière que leurs correspondans 23, 24, etc.; et que l'établissement du globe *Q* a dû éprouver les mêmes contrariétés que celui de son correspondant *N*.

La contrescarpe étant renversée à la droite et à la gauche de l'attaque, et l'assiégeant pouvant dès-lors établir et mettre en jeu ses batteries, voyons en quoi consiste alors la défense souterraine. Si les localités ont permis de s'enfoncer de trois mètres (9^{pieds}) seulement au-dessous du sol du fossé sans trouver l'eau, le mineur assiégé aura préparé, à cette profondeur, les fourneaux *R* et *S* qu'on voit le long

de la face gauche de la demi-lune, et auxquels conduisent des rameaux venant de la galerie d'escarpe. Il fera jouer les premiers immédiatement après l'explosion du globe *N*, pour faire disparoître, aussitôt qu'elle est formée, la rampe que produisent immanquablement les terres et les décombres lancés par ce globe contre l'escarpe; et il réservera les seconds pour disperser par leur jeu les décombres et les terres qui proviendront de la brèche qui sera faite à l'escarpe par le canon. Ceux-ci ne devront jouer qu'au moment où, la brèche étant praticable, l'assiégeant paroîtra disposé à se loger dessus. L'utilité reconnue de ces fourneaux exigeant qu'on leur substitue quelque chose d'équivalent quand la présence des eaux ne permet pas de s'enfoncer dans le sol du fossé à une profondeur de trois mètres (9^{pieds}), voici par quoi on peut les suppléer dans ce cas, qui a lieu, par exemple, quand, comme nous l'avons supposé précédemment, le sol de la campagne n'est qu'à 8,50 mètres ($25^{pieds}\ 6^{pouces}$) au-dessus des plus hautes eaux. On exécute à l'avance, en maçonnerie, sur le sol même du fossé, les fourneaux *R* et *S* et leurs rameaux extérieurs, tels qu'on les voit tracés en avant de la face droite de la demi-lune. On communique à cet appareil par des rameaux venant de la galerie d'escarpe et aboutissant dans le fossé à hauteur de son sol. Ces fourneaux, ainsi disposés, se trouvant trop près de l'escarpe pour qu'on n'ait pas à craindre que leur explosion ne dégrade le revêtement, on en réduit l'effet à rien, ou à peu de chose, en renforçant le pied de l'escarpe, vis-à-vis les fourneaux, par un prisme de bonne maçonnerie. On recouvre ensuite le tout d'une masse de terre argileuse bien damée, et formant une rampe d'environ trente degrès d'inclinaison : cette rampe

n'augmentera pas de beaucoup le volume de celle produite par le renversement de la contrescarpe. Enfin, comme cet appareil ne craint que les bombes, puisque le canon des batteries de brèche n'est pointé qu'à environ deux mètres (6^{pieds}) du fond du fossé, il n'est peut-être pas déraisonnable de croire que celles qui tomberont sur lui ou dans les environs, ne l'endommageront pas au point de le rendre tout-à-fait inutile. Lorsqu'on approchera du moment d'en faire usage, on chargera tous ses fourneaux à la fois, en observant de donner à chacun d'eux un saucisson particulier, pour pouvoir faire jouer ceux cotés *R* les premiers, et ceux cotés *S* ensuite; les uns pour disperser les terres provenant de l'explosion du globe *Q*, et les autres pour enlever les décombres provenant de la brèche faite au revêtement. La longueur des rameaux auxquels s'appuient les fourneaux *R* permet ces explosions alternatives. On observera encore, après avoir bourré les rameaux extérieurs à l'ordinaire, de masquer en maçonnerie de ciment, sur une longueur d'un mètre (3^{pieds}) au moins, l'extrémité des rameaux qui traversent le revêtement, afin d'ôter à l'assiégeant la tentation de débourrer ces rameaux pour y placer des poudres.

Quoique nous ayons parlé plusieurs fois dans le cours de cet ouvrage, de l'objet des fourneaux que l'on voit cotés *T* sur les deux faces de la demi-lune, nous devons encore dire ici à leur sujet, que c'est l'inclinaison présumée de la rampe formée par le tir en brèche qui règle leur emplacement par rapport à cette rampe, ou leur élévation par rapport à la galerie d'escarpe; qu'ils doivent jouer pour déloger l'assiégeant de dessus les brèches ou pour repousser l'assaut, et enfin, que c'est par eux que se termine la défense souterraine.

Remarques sur l'attaque et la défense des places minées, en général, et sur l'attaque et la défense qu'on vient de décrire, en particulier.

238. De ces remarques plusieurs eussent pu être faites dans le cours du paragraphe précédent, ou être jetées dans des notes à mesure qu'elles sembloient dictées par le sujet: mais leur nombre et la longueur de quelques-unes nous ayant fait penser que l'exposition des opérations principales des mineurs contendans pourroit perdre de sa clarté par des interruptions trop fréquentes et trop longues, nous avons préféré en faire l'objet d'un paragraphe particulier; persuadés, au reste que si elles sont bonnes elles seront jugées telles indépendamment de la place qu'elles occupent.

239. La première est relative à la manière dont le mineur assiégeant entre en rameau dans sa parallèle, dans ses entonnoirs ou dans ceux de l'assiégé. Nous n'en avons pas parlé quand nous en avons eu l'occasion, parce qu'il eût fallu discuter alors ce qui vaut le mieux, des puits ou des rampes; question qui, dans notre façon de voir, conduit à combattre l'opinion de ceux qui adoptent exclusivement les puits, et à faire valoir le sentiment de ceux qui leur préfèrent les rampes. Nous allons commencer par expliquer le travail des uns et des autres, et nous en conclurons ensuite le désavantage des premiers.

Un puits s'ouvre au pied de l'épaulement de la parallèle, ou de celui du couronnement d'un entonnoir : on lui donne une profondeur quelconque; on le blinde, et c'est à partir de son fond que l'on chemine en rameau vers les mines de la place. Les hommes qui travaillent dans le rameau portent

les terres de la fouille, dans des paniers, jusqu'au fond du puits, et d'autres hommes, en permanence à son ouverture, enlèvent ces terres, en réunissent une partie dans des sacs pour servir au bourrage, et éparpillent le reste de manière à ce que l'assiégé ne s'apercoive pas, s'il est possible, de l'augmentation progressive de leur volume aux environs du puits. »

Par une rampe on entre immédiatement en rameau au pied de l'épaulement de la parallèle ou dans les flancs d'un entonnoir. Dans le premier cas, la parallèle ayant son sol d'un mètre (3^pieds^) au-dessous de celui de la campagne, on s'enfonce d'un autre mètre (3^pieds^) plus bas, et on fait deux petites rampes latérales pour arriver sans ressaut à cet *enfoncement*, qu'on blinde : là on commence le rameau, et on lui donne une pente quelconque, afin de gagner, le plus promptement qu'il se peut, la profondeur à laquelle on veut pénétrer. Dans le second cas, on déblaie les terres meurtries de l'entonnoir, à l'endroit où l'on veut entrer en rameau (cet endroit doit être pris à demi-hauteur de l'évasement de l'entonnoir), et on chemine en pente jusqu'à ce qu'on soit à la hauteur qu'on a voulu atteindre.

On ne peut disconvenir que les puits sont peu propres à laisser jouer l'air dans les rameaux; que, comme les galeries qui se présentent en flanc, ils sont sujets à être crevés de loin par des explosions ennemies; qu'ils obligent à un long travail, car après les avoir creusés à leur profondeur on n'a pas encore fait un pas en avant; que l'extraction des terres de la fouille des rameaux est très-lente, et demande un grand nombre de bras par la nécessité d'en employer au haut des puits, où les bombes et les grenades distraient les travail-

leurs; qu'enfin, dans les sorties réelles de l'assiégé, comme dans les mouvemens qui semblent en présager, le mineur assiégeant, qui craint de n'être pas assez tôt prévenu et d'être étouffé ou fait prisonnier dans son trou, s'empresse d'en sortir à chaque alerte, ce qui retarde d'autant son travail, etc. Les rampes n'ont pas ces défauts: l'air y pénètre directement; dès qu'on les a commencées on tend vers son but, etc. Elles méritent donc la préférence sur les puits toutes les fois qu'on est libre d'exécuter les unes ou les autres. Or ce cas a toujours lieu quand le rameau à faire est assez long pour permettre de compenser par 0,20 à 0,25 mètres (8 à 9^{pouces}) de pente par mètre (3^{pieds}), la différence de niveau entre son entrée et le pailler du fourneau auquel il conduit.

240. Le terrain dans lequel nous avons expérimenté que le bruit des fouilles souterraines ne se transmettoit pas à plus de 14 ou 15 mètres (42 à 45^{pieds}), même lorsque le mineur travailloit sans précaution et qu'il étoit recherché avec le plus de soin par son adversaire; ce terrain, disons-nous, très-anciennement rapporté, étoit devenu très-compacte à cause de sa nature argileuse. Sans doute que cette sorte de terrain est la moins susceptible de favoriser la propagation du son: mais le terrain dont nous parlons n'étoit pas entièrement composé d'argile; il contenoit des couches de substances légères, dures et poreuses, sonores conséquemment. On ne peut donc admettre qu'il y ait des terrains dans lesquels, comme quelques auteurs l'ont dit, le bruit que fait le mineur en détachant les terres à la pioche et en chassant à la masse les madriers du ciel et les planches du coffrage, se fasse entendre, pour les coups de pioche, à vingt-huit ou trente

mètres (84 à 90 pieds), et pour les coups de masse, à quarante et même à cinquante mètres (120 à 150 pieds). Au reste, voici les moyens qu'emploient les travailleurs et les écouteurs, les premiers pour faire moins de bruit, et les autres pour entendre de plus loin.

Quand les mineurs se croient à portée d'être entendus, ils ne se servent plus de la pioche pour continuer leurs fouilles; ils lui substituent des ciseaux plats, pareils à ceux des charpentiers, et ils frappent avec la paume de la main sur le bout du manche. Ils évitent également de se servir de la masse pour chasser les madriers du ciel et les planches du coffrage; ils les poussent peu à peu avec la pointe d'une petite pince. De cette manière on fait le travail avec assez peu de bruit pour approcher des galeries ennemies sans être entendu, jusqu'au point de déboucher dedans, comme il est, dit-on, arrivé quelquefois. Il est vrai qu'en cheminant avec ces précautions la besogne va moins vite de moitié; car on estime que dans un terrain docile où l'on fait six mètres (18 pieds) de rameau par vingt-quatre heures en travaillant sans contrainte, on n'en feroit guères que trois mètres (9 pieds) en procédant comme nous venons de le dire.

De tous les moyens employés par les écouteurs pour être avertis du bruit qui se fait autour d'eux, le meilleur consiste à placer des caisses de tambours sur le sol des écoutes, la peau du timbre en dessus. On répand sur cette peau des corps ronds et légers, des pois, par exemple, qui, par leurs mouvemens, provoqués par les moindres secousses que reçoit le terrain, indiquent le travail des fouilles ennemies. Le trémoussement des pois n'indiquant pas de quel côté les fouilles s'exécutent, c'est ce qu'il reste à découvrir. Pour

cela, on perce avec un trépan des trous horizontaux dans divers sens ; on applique l'oreille à l'orifice de chaque trou, et celui par où le son parvient le plus distinctement décèle la position des travailleurs. On agit ensuite en conséquence.

241. Quand l'assiégant ignore la position des mines les plus avancées de la défense, il est obligé de placer sa troisième parallèle au hasard et de pousser de même ses autres cheminemens extérieurs, jusqu'à ce qu'enfin quelque explosion lui apprenne à ses dépens qu'il est entré dans le terrain soumis à leur influence. Cette manière d'apprendre un tel secret coûte trop cher. Voici donc un stratagème qu'en pareilles circonstances l'assiégeant peut mettre et a quelquefois mis en œuvre avec succès, pour faire jouer prématurément les fourneaux ennemis sans danger pour lui. Sa parallèle ne pouvant être loin des premiers fourneaux défensifs, il exécute de nuit, et le plus silencieusement possible, une espèce de gabionnade, qui, partant de la parallèle, coupe obliquement la capitale ; et il s'avance aussi loin que faire se peut sans éveiller l'attention de la garde du chemin couvert. Ensuite, à l'aide de beaucoup de fascines et de quelque peu de terre apportée dans des sacs, il donne à cette gabionnade l'apparence d'un boyau de sape, qu'il fait en sorte d'achever avant l'aurore. Si ce boyau passe sur les mines ennemies, si l'assiégé, ne soupçonnant rien, n'attend pas qu'il fasse grand jour pour faire sauter ceux de ses fourneaux, chargés à l'avance, qui ont prise sur ce simulacre de sape, il est certain qu'il pourra s'y tromper, et que l'assiégeant aura lieu de s'applaudir de sa ruse. La réussite au reste dépend du concours de plusieurs circonstances favorables, parmi lesquelles une nuit obscure est la plus nécessaire.

242. Quelquefois les mines défensives, soit par une cause, soit par une autre, embrassent si peu d'espace sous les glacis, qu'il seroit désirable que l'on pût persuader à l'assiégeant, par ses espions mêmes, qu'elles en embrassent davantage. Voici un moyen de lui en imposer à cet égard. On sait toujours assez à l'avance qu'une place sera assiégée pour, si elle a des mines, y jeter des mineurs, à moins que ceux qui l'ont minée n'y soient encore. C'est donc à cette époque, c'est-à-dire quand l'ennemi n'a plus que quelques obstacles à lever pour investir la place, que l'on pourroit se préparer à lui jeter de la poudre aux yeux par le stratagème suivant. On traceroit sur le terrain en avant des mines réellement existantes, un projet de mines additionnelles, qui pût paroître concorder avec le système exécuté auparavant; on ouvriroit des puits comme si l'on vouloit exécuter ce projet; on feroit même quelques galeries insignifiantes, afin qu'en travaillant à ces mines simulées pendant tout le temps que l'ennemi mettroit à s'établir dans le pays, à investir et à reconnoître la place, ses espions fussent les premiers trompés. Enfin, quand il seroit en mesure d'ouvrir la tranchée, on combleroit à la hâte tous les puits, et on laisseroit subsister, sans affectation, quelques traces du travail. On conçoit que pour cacher l'objet de ces prétendues mines, qui, si elles n'ont rien de douteux dans l'opinion de l'assiégeant, influeront comme réelles sur quelques-unes de ses opérations avant et pendant le siége, il faut empêcher toute autre personne que les mineurs d'approcher de leurs travaux; et, s'il se peut, leur en celer le but à eux-mêmes. Peut-être sera-t-il mieux et plus sûr, au lieu de le leur taire, de leur recommander de n'en par-

ler, ni avec les autres militaires de la garnison, ni même entre eux.

Dans notre système, dont les fourneaux les plus avancés sont encore loin de l'extrémité des arêtes du glacis, ce stratagème pourroit occasioner beaucoup de fouilles et quelques explosions de plus à l'assiégeant. Dans les places qui n'ont pas de mines il pourroit faire croire qu'il y en a, et particulièrement dissimuler la foiblesse relative d'un ou de plusieurs fronts.

243. Passons aux remarques qui concernent l'attaque et la défense décrites au numéro 237, et commençons par répondre à une objection qu'on aura pu nous faire relativement à la charge des trois premiers globes de l'assiégeant. Pourquoi, se sera-t-on dit, n'avoir pas encore chargé davantage ces globes, de manière, par exemple, à leur faire étendre leur commotion destructive à quatre fois leur ligne de moindre résistance? Nous répondons que, pour les charger ainsi, ou leur faire produire des effets dont les limites fussent marquées par les deux plus grands cercles décrits autour, il auroit fallu que la parallèle fût plus éloignée de leur emplacement, ou qu'au lieu d'en être à trente-deux mètres (96^{pieds}), elle en fût au moins à quarante (120^{pieds}), afin que les terres des entonnoirs ne la recomblassent pas outre mesure; que dans la supposition d'un aussi grand éloignement de la parallèle, les rameaux à faire pour arriver à l'emplacement des globes n'auroient plus été exécutables, faute d'air, et que, quoiqu'il y ait des machines propres à souffler de l'air frais dans les rameaux où il n'en circule pas naturellement, une parallèle, une troisième parallèle, n'est point un lieu commode pour établir et manœuvrer ces machines. Toutefois cette

dernière difficulté pouvant très-bien ne pas paroître insurmontable à tout le monde, et la considération de la trop grande proximité de la parallèle n'étant pas non plus une raison suffisante pour arrêter l'assiégeant dans la mesure de ses charges, il nous faut bien dire ce que l'assiégé pourroit faire dans le cas où il auroit le moindre soupçon que des globes voisins de ses premières mines dussent être chargés à toute outrance. Ce soupçon peut naître de quelque indice physique, ou n'être fondé que sur la crainte : mais, quel qu'en soit le motif, il convient que le moyen par lequel l'assiégé se tranquillisera l'esprit ne soit désavoué ni par l'art ni par l'honneur. Voici ce qui satisfait à tout. Le mineur assiégé, craignant la destruction de ses galeries s'il ne prévient son adversaire, pratiquera des fourneaux à l'extrémité des quatre écoutes obliques les plus avancées de la disposition ; il chargera ces fourneaux ainsi que ceux du premier rang, et mettra le feu à tous au moment où il croira le mineur assiégeant occupé à charger les siens. Il s'assurera de ce moment avec assez d'exactitude, en calculant, d'après la connoissance qu'il aura de la nature du terrain, le temps nécessaire à l'ennemi partant de la parallèle, pour venir en rameaux vers les premiers fourneaux défensifs, à une distance telle que les effets des plus forts globes usités atteignent ces fourneaux. Que résultera-t-il de cette ligne d'explosion, si elle a lieu ? que l'espèce de fossé qu'elle creusera sera de ce côté, par l'interruption dans la masse, la limite à laquelle s'arrêtera la commotion intérieure des globes : et si, ce qui n'est pas présumable, l'assiégeant veut encore les faire jouer, soit qu'ils jouent ou non, son mineur sera dans une position semblable à celle où nous l'avons vu après le

jeu des cinq fourneaux 23 à 27 en avant de son globe *L*. Nous feroit-on ici une nouvelle objection ? pourroit-on nous dire que le jeu de toute une ligne de fourneaux, motivé sur l'appréhension du mineur assiégé d'être broyé dans ses écoutes, hâte l'arrivée de l'assiégeant à son but ? Sans doute le grand entonnoir ouvert devant lui, une fois couronné, une fois parfaitement à l'abri de toute chicane subséquente, sera pour lui une grande avance : mais cet avantage compense-t-il le temps qu'il a employé aux fouilles qui ont décidé le jeu de ces fourneaux ? compense-t-il celui pendant lequel leurs entonnoirs lui sont vivement disputés ? Compte-t-on pour rien ces pertes de temps qui, occasionées par les mines et amenant des pertes d'hommes, portent le découragement et la terreur parmi les troupes ? considère-t-on, enfin, que pour marcher en avant, en partant de quelque point que ce soit du long fossé formé par tous ces entonnoirs, chacun des pas de l'assiégeant peut être marqué par le dernier soupir de quelques-uns de ses mineurs ? Il le faut avouer : le moyen que nous disons pouvoir être employé par le mineur assiégé, quand il a des raisons de supposer à l'assiégeant le dessein d'écraser les mines défensives par les globes les plus fortement chargés dont on connoisse les effets, n'a rien qui ne soit véritablement militaire. Ainsi, comme l'assiégeant peut vouloir charger tous ses globes aussi fortement que les trois premiers, l'assiégé ne doit pas hésiter, quand tout autre moyen est interdit ou reconnu moins efficace, à atténuer les effets de ces globes par des explosions qui précèdent les leurs. Qu'une défense de ce genre entraîne d'ailleurs l'assiégé dans une plus grande consommation de poudre ; qu'au lieu de

n'en consumer que 48,000 kilogrammes (100,000[livres]) il en brûle 66,000 à 67,000 (140,000[livres])[20], quantités que des combinaisons et des calculs soignés nous ont données pour satisfaire aux deux genres de défense pour un front; que la dernière de ces quantités paroisse exorbitante : nous ne cherchons point à en faire accroire sur ce point, non plus que sur tout autre; nous voulons seulement insinuer que quand l'assiégeant, qui a autant d'intérêt à préférer les gros globes aux petits que ceux-ci aux fourneaux ordinaires, agit conséquemment à son plus grand avantage, ce ne peut être qu'en tronquant les effets des gros globes du côté de la place par le seul moyen dont puisse user l'assiégé, que ce dernier peut rendre sa résistance à peu près aussi longue qu'elle *le seroit si* l'assiégeant n'employoit dans le cours de son attaque que des globes médiocres ou des fourneaux ordinaires.

244. L'éloignement de la disposition des fourneaux de la demi-lune, de celles des places d'armes rentrantes collatérales, donnant au mineur assiégeant, comme nous l'avons déjà observé, la facilité de se glisser entre elles, et de s'approcher jusqu'à un certain point, sans rencontrer l'ennemi, des dispositions qui défendent la crête du glacis; on a vu que, mettant à profit cette circonstance, ce mineur a établi ses deux globes O et P hors de la portée de l'une et des autres de ces dispositions. Auroit-il pu se conduire à l'autre partie de l'attaque comme à celle à laquelle appartiennent ces globes, et cependant négliger de s'avancer intermédiairement en partant de son globe C? On peut répondre affirmativement et négativement à cette question : affirmativement, quand les sorties sont interdites à l'assiégé; et négativement, quand

elles lui sont permises. En effet, si l'assiégeant, n'ayant pas de sorties à repousser, peut se passer de soutenir son mineur par une garde autre que celle de sa parallèle, il pourra suspendre l'exécution de ses cheminemens extérieurs sur le glacis jusqu'à ce que, la contrescarpe étant renversée de part et d'autre de l'arrondissement, il puisse cheminer sur les mines de la défense; et il n'en aura plus rien à craindre alors, puisque l'assiégé n'y pourra plus communiquer. Mais si au contraire l'assiégeant, s'attendant à des sorties, conçoit que son mineur a besoin d'une protection immédiate, il sera indispensable que ses travaux extérieurs suivent les progrès de ses travaux souterrains, afin que ceux-là protègent ceux-ci : et pour cet effet il lui faudra, ou rapprocher de la capitale les deux parties de son attaque, de manière à renverser progressivement toute la disposition de fourneaux qui défend cette capitale; ou en faire une intermédiaire, qui, remplissant le même but, lui permette de lier les entonnoirs de ses globes, à mesure qu'ils seront ouverts, par des boyaux qui serviront de places d'armes aux gardes protectrices de son mineur. Il est évident, d'après cela, que l'attaque de la demi-lune de la figure 89, non contrariée par des sorties, seroit différemment conduite et bien autrement difficile si l'assiégeant avoit à se prémunir contre ce moyen de défense extérieure. Mais quoique le cas que nous avons supposé soit extrêmement rare, nous l'avons néanmoins choisi de préférence, parce que ceux à qui nous parlons de mines, connoissant l'art de défendre et d'attaquer les places, se représenteront aisément les obstacles qui naissent du mélange des moyens défensifs souterrains et extérieurs. Au reste, les deux têtes d'attaque finies, et celle seulement commencée

sur la demi-lune en question, à chacune desquelles nous avons donné un but particulier, vraisemblable dans un cas possible, trouvent aussi leur application dans certains autres cas, soit qu'il s'agisse d'une demi-lune ou d'un bastion, soit que les sorties soient interdites ou permises à l'assiégé. Nous croyons ne devoir citer aucun de ces cas, attendu qu'on peut aisément se les figurer et qu'il seroit trop long de les particulariser tous.

245. Aucune place que nous sachions n'a encore donné l'exemple d'une défense souterraine qui se soit prolongée au-delà du moment où les fourneaux destinés à culbuter les logemens sur les brèches ont joué. Ce n'est pas que, quand les ouvrages sont convenablement retranchés, on ne puisse les défendre par les mines; mais il semble, par ce qui s'est pratiqué jusqu'à présent, qu'on a moins considéré les retranchemens comme propres à être défendus par le mineur, que comme des accessoires bons seulement à faire tête aux assauts qu'il étoit prescrit de soutenir avant de capituler. Il est résulté de cette opinion, qu'à l'époque de la défense où les retranchemens sont la dernière ressource des défenseurs, ceux-ci, affoiblis, harassés, convaincus de l'inutilité de leurs efforts pour sauver la place, se sont accoutumés à ne voir dans ces foibles boulevards qu'un mauvais moyen de donner et recevoir quelques coups de plus, et ne les ont pas même fait servir à l'usage pour lequel ils étoient élevés. En eût-il été ainsi si les retranchemens eussent été disposés de manière à bien suppléer les parties renversées de l'enceinte, et surtout à être défendus par les mines? non, sans doute; et tout porte à croire que les défenseurs de toutes les armes, à qui une enceinte intacte et minée inspira toujours une

grande confiance; se seroient empressés de concourir de leur mieux à la défense de ces retranchemens, et que ce moyen de prolonger la durée de la résistance des places, accrédité dans l'esprit des militaires, ne seroit plus aujourd'hui une simple théorie dénuée de faits qui en constatent la bonté. Quoi qu'il en soit, ces réflexions ne s'appliquent qu'aux retranchemens des bastions; car quand il s'agit d'une contre-garde ou d'une demi-lune composée, il est hors de doute que pour négliger de les défendre par les mines tant qu'on peut pénétrer sous leur terre-plein, il faudroit que le personnel et le matériel de la défense extérieure fussent dans un grand état de détresse et de délabrement. Ainsi, quoique nous ayons dit à la fin du numéro 237, que c'étoit par le jeu des fourneaux *T* que se terminoit la défense souterraine, ceci ne doit s'entendre dans un sens absolu que quand les ouvrages mis en brèche ne sont pas retranchés de manière à comporter le genre de défense dont nous parlons ici.

D'après cette déclaration on s'attend peut-être à trouver ici ce que l'art du mineur peut ajouter de moyens défensifs aux contre-gardes, aux autres parties couvrantes, et aux retranchemens de bastions susceptibles de cette défense. Mais, si nous ne nous trompons, nous croyons que la multitude de détails que nous avons donnés sur tant d'autres parties peut nous dispenser d'en donner sur celle-ci, et nous proposons à l'intelligence du lecteur de chercher à y suppléer. Nous croyons aussi que l'objet actuel étant à peu près neuf, n'ayant, à notre connoissance, été traité *ex professo* que par le major Mouzé, il convient, avant d'en parler dans un ouvrage qui, d'après les conditions même du programme, ne doit être qu'une espèce de manuel du mineur, d'attendre

que le temps ait amené d'autres projets sur cette matière, et qu'une discussion éclairée, si ce n'est l'expérience, ait consacré celui qui sera jugé le meilleur.

Fixation de la durée de la défense décrite n.° 237.

246. Si l'on a bien remarqué la simplicité des moyens que nous avons fait employer au mineur assiégé dans la défense de notre système, on doit convenir qu'on n'a opposé à l'assiégeant que les ressources les plus communes et les plus à portée des hommes les moins habitués au service des mines. Par combien d'obstacles encore ne pouvions-nous pas ralentir sa marche ? que de chances contre lui si nous avions cédé aux inspirations de notre amour propre qui nous crioit de mieux défendre notre ouvrage ! Sans doute que nous eussions fait ressortir notre système avec plus d'avantage, que nous lui aurions acquis plus de partisans, si nous avions voulu, sans cependant nous aider des démarches vaines ou fausses de l'assiégeant, le corroborer de toutes les petites chicanes incidentes auxquelles il peut se prêter. Pourquoi donc avons-nous négligé ces moyens? c'est que nous voulons véritablement être utiles à la science : c'est que nous désirons être jugés, non sur des spéculations de cabinet, le brillant d'une imagination féconde, habile à multiplier ses ressources, à s'en créer de nouvelles sur le papier; mais bien d'après le cours ordinaire des choses à la guerre, le tumulte des combats, les contrariétés qui accompagnent les opérations militaires, et les avantages réels et positifs que peut offrir une disposition de mines assez forte pour se passer de tout appui qu'elle ne trouveroit point en elle-même.

Dans la crainte d'embrouiller l'idée générale que nous

avons voulu donner d'une attaque et d'une défense souterraines, nous n'avons pas parlé du temps qu'ont exigé les opérations du mineur assiégeant pour en venir à ses fins : nous allons donc noter ici le nombre de jours qu'il lui a fallu pour exécuter ses diverses fouilles, et nous en déduirons ensuite la durée de la défense.

Évaluons successivement le temps qu'il a mis à préparer et à faire jouer les globes de l'une et de l'autre partie de son attaque.

En supposant qu'il soit parti de la troisième parallèle par un rameau rampant, lequel, vu son inclinaison et le travail du fourneau *B*, équivaut à un rameau horizontal de trente-six mètres (110 pieds) au moins de longueur, nous disons qu'à raison de six mètres (18 pieds) de rameau par vingt-quatre heures, il a mis six jours pour l'exécution seule ; à quoi ajoutant un jour et demi pour l'œuvre de la charge et du bourrage, cela donne pour le premier appareil . . 7 jours $\frac{1}{2}$

Le second appareil, ou le globe *H*, dont le rameau est moins long, mais qui n'a pu être poussé aussi vivement, a consumé, tout compris . . . 9

Le troisième appareil, ou le globe *L*, supposé exécuté sans contradiction, a exigé . . . . . 7 $\frac{1}{2}$

Le quatrième appareil enfin, ou le globe *N*, n'a été achevé, après une longue et vive discussion, qu'en 9

TOTAL . . . 33 jours

Ce total de trente-trois jours ne peut-il pas être augmenté de six à sept jours, ou être porté à quarante ? Il nous semble que les délais, les retards, les méprises, les contretemps

inévitables en pareille occurrence, autorisent cette supputation, et qu'on pourroit même aller au-delà. Quoi qu'il en soit, fidèles à notre manière d'envisager les choses nous ne voulons admettre que les hypothèses qui ne peuvent nous être contestées. Passons à l'autre partie de l'attaque.

Le globe *D*, comme celui *B*, a demandé . . $7^{\text{jours}}\ \frac{1}{2}$

Chacun des deux globes *O* et *P* en a exigé autant, et par conséquent les deux ensemble 15

Celui *Q*, comme celui *N*, a demandé . . 9

TOTAL . . . . $31^{\text{jours}}\ \frac{1}{2}$

Ce total, par la raison qui nous a fait augmenter le précédent, peut être porté à trente-six jours. Ainsi, le mineur *assiégeant* mettant trente-six jours sur sa gauche et quarante sur sa droite, pour arriver de la troisième parallèle dans le fossé de la demi-lune, on peut compter, sans trop présumer du surcroît de difficultés que présente l'attaque d'un bastion, qu'il mettra quarante-cinq jours pour déboucher dans son fossé; en supposant toujours qu'il n'éprouvera qu'une résistance médiocre, qu'il ne fera point de fausses démarches, et qu'il ne sera nullement arrêté par le besoin d'être soutenu. Que seroit-ce donc si aux obstacles de la défense souterraine se joignoient ceux de la défense extérieure; si le mineur assiégeant, ne connoissant pas la position des mines qu'il attaque, devoit marcher au hasard, et si le mineur assiégé développoit contre lui tous ses moyens de résistance? sans doute qu'alors la défense se prolongeroit bien au-delà du terme que nous lui avons assigné en la dépouillant, presque gratuitement, de quelques-uns de ses moyens. Pourquoi, par exemple, n'avons-nous pas parlé des sorties, du moment

favorable pour les faire, des avantages qu'on en retire et de la nécessité où elles mettent l'assiégeant de faire marcher de front ses travaux extérieurs et souterrains? c'est que notre tâche étant en général de décrire les travaux des mineurs, la marche de ces travaux, leur but et leurs effets, nous avons dû nous y borner : c'est particulièrement parce qu'en mélangeant, sans trop de besoin, toutes les ressources défensives, on eût pu attribuer aux unes les bons effets des autres ; donner aux sorties ce qui appartient aux mines ; disputer sur la valeur intrinsèque de notre système, et nier que, privé de son plus fort auxiliaire, il pût arrêter l'assiégeant trente-six à quarante jours sur le glacis de la demi-lune et quarante-cinq jours sur celui d'un bastion. La durée de la défense ne pouvant donc nous être contestée par aucun raisonnement puisé dans la nature des moyens employés par le défenseur, il reste à examiner si elle ne doit rien à la foiblesse de l'attaque. Nous ne croyons pas qu'on puisse nous reprocher d'avoir favorisé l'assiégé au détriment de l'assiégeant. Nous avons fait plus que de nous mettre à la place de ce dernier, nous l'avons conduit comme par la main. Nous lui avons fait employer des globes de compression, bien autrement formidables et décisifs que des fourneaux ordinaires[1] : nous lui avons fait renverser la contrescarpe lorsqu'il n'étoit encore qu'au point où se trouvoient les François devant Berg-op-zoom, quand, voulant aussi renverser la contrescarpe, ils n'y réussirent qu'au bout de quarante jours, après avoir essuyé les feux de vingt-cinq à trente explosions, et en avoir fait essuyer autant à l'ennemi. Mieux guidé, sans contredit, dans nos feintes opérations, qu'il ne se guideroit lui-même dans un siége réel, nous lui avons fait éviter les

fautes commises par les Prussiens au siége de Schweidnitz, en enfonçant tous ses globes au plus bas du terrain et en leur faisant produire des effets majeurs. Que voudroit-on de plus? qu'on lui eût sauvé toutes les contradictions de la guerre souterraine? mais cela n'étoit pas possible, et nous avons fait, même à cet égard, tout ce qu'il étoit en notre pouvoir de faire : nous ne l'avons exposé aux camouflets, aux fougasses et à toutes les chicanes que quand personne au monde n'eût pu agir autrement. Il n'est donc rien dans notre attaque et notre défense qui puisse autoriser à contester ce que nous avons dit de la durée de cette dernière.

Indication des moyens d'appliquer notre système à diverses localités.

247. En parlant des systèmes de mines, un ingénieur, auteur d'un ouvrage estimé, dit qu'en général les meilleurs sont ceux dont les moyens sont les plus simples, les opérations les plus faciles, les plus indépendantes, les moins compliquées. Si c'étoit réellement à ces caractères qu'on reconnût les bons systèmes, nous oserions croire à la bonté du nôtre, car il les possède tous à un assez haut degré. Ses moyens sont simples ; il n'a qu'un étage de fourneaux** : les opérations de son tracé et de sa construction sont faciles ; nos sous-officiers les dirigeroient. Elles sont indépendantes, sous le rapport de l'arrangement, de toutes les parties du système ; ces parties n'entrent en jeu qu'une à une : elles sont sans complication de manœuvres ; la conduite du mineur assiégé est la même dans tout le cours de la défense. Un autre mérite qu'a notre système, c'est de se plier aisément à

des localités différentes de celle qui nous a servi à expliquer son tracé. Si nous avons choisi celle-ci, ce n'est pas qu'elle soit plus propre que toute autre à convaincre des avantages que nous attribuons aux systèmes à un seul étage de fourneaux : c'est que la hauteur de terrain que nous avons prise nous a paru tenir le milieu entre la plus foible et la plus considérable de celles que les eaux laissent à la disposition du mineur ; c'est qu'elle se rencontre le plus ordinairement ; c'est qu'enfin elle pourroit être augmentée de trois à quatre mètres (9 à 12^{pieds}), sans qu'on fût obligé pour cela d'enfoncer les fourneaux beaucoup au-dessous de la profondeur à laquelle existent ceux auxquels nous avons donné huit mètres (24^{pieds}) de ligne de moindre résistance; en supposant 8,50 mètres (25^{pieds} 6^{pouces}) de terrain disponible. Expliquons-nous. Nous avons dit, à la fin du numéro 226, que lorsque les eaux ne laissoient pas plus de huit à neuf mètres (24 à 27^{pieds}) de terre au-dessus de leur plus grande élévation, nous établissions invariablement les fourneaux au plus bas du terrain. En les enfonçant à cette profondeur, notre objet n'a pas été uniquement d'empêcher le mineur assiégeant de les prendre par le dessous, mais, en leur donnant la plus forte ligne de moindre résistance possible dans cette hypothèse, d'avoir le moins possible de galeries et de rameaux à construire. Nous eussions pu sans doute élever les fourneaux de deux mètres (6^{pieds}) au-dessus des eaux, sans donner au mineur assiégeant la faculté de les combattre par le dessous autrement qu'en se donnant en prise à leurs effets ; mais alors il auroit fallu les rapprocher beaucoup plus les uns des autres, en augmenter le nombre, augmenter proportionnellement la quantité de galeries et de rameaux, et accroître considéra-

blement les frais de construction. A la vérité de plus petits fourneaux, quoiqu'en plus grand nombre, auroient exigé une moindre quantité de poudre pour la défense; mais cette épargne ne balance point l'augmentation des frais de construction.

Le principe d'asseoir les fourneaux au plus bas du terrain, ou à 0,50 mètres (18 pouces) au-dessus des plus hautes eaux, doit donc être appliqué rigoureusement à toutes les hauteurs de terrain qui n'excèdent pas huit à neuf mètres (24 à 27 pieds): accordons maintenant ce principe avec des hauteurs plus considérables. Si, au lieu de huit à neuf mètres (24 à 27 pieds) de terrain, on se trouvoit en avoir dix, douze ou quatorze (30, 36 ou 42 pieds), et qu'on appliquât, sans modification, le principe ci-dessus à ces hauteurs, la construction de tout le système seroit, il est vrai, beaucoup moins coûteuse; mais outre qu'on auroit, surtout pour les deux dernières hauteurs, des fourneaux qui exigeroient des monceaux de poudre, et produiroient des entonnoirs gigantesques et inconciliables avec l'esprit d'une bonne défense, les cheminemens qui conduiroient à ces fourneaux seroient assez écartés les uns des autres pour faire craindre que le mineur assiégeant, travaillant avec précaution, ne se glissât dans leurs intervalles sans être entendu. Nous estimons en conséquence que pour dix mètres (30 pieds) de terrain, comme pour huit à neuf (24 à 27 pieds), on doit se contenter d'établir les fourneaux à huit mètres (24 pieds) au-dessous du niveau de la campagne; pour douze, à neuf mètres (36 à 27 pieds) seulement, et pour quatorze, à dix mètres (42 à 30 pieds): c'est-à-dire qu'il suffit, dans toutes ces hypothèses, que la ligne de moindre résistance des fourneaux prenne un peu plus ou

un peu moins des 0,75 de la hauteur du terrain disponible. De cette manière les fourneaux ne seront point en contradiction avec l'esprit d'une bonne défense; les cheminemens qui y conduiront ne seront point trop éloignés les uns des autres, et le plan sur lequel on les établira ne sera pas tellement au-dessus de celui qui marque la plus grande élévation des eaux, que le mineur assiégeant puisse pénétrer entre ces deux plans sans être entendu du mineur assiégé.

Comme il est très-rare de rencontrer des hauteurs de terrain plus grandes que la dernière de celles dont nous avons fait mention, nous croyons ne rien devoir statuer à leur égard: quand on ne trouve pas l'eau à ces profondeurs, on trouve le roc, et cela revient au même.

Estimation de la dépense à faire pour construire sous œuvre, sur tout un front, soit en maçonnerie, soit en bois, toutes les galeries et rameaux de notre système, à l'exception des galeries d'escarpe et de contrescarpe, et des dépendances de la première de ces galeries.

248. Un système de mines défensives, quelque bon qu'il fût, qui n'auroit pas le mérite de coûter aussi peu que tout autre, risqueroit qu'on lui préférât le premier venu, puisque la considération d'une dépense que peut-être on ne seroit pas en état de faire empêcheroit de le construire. Une considération essentielle pour quiconque imagine un nouveau système de mines, est donc de faire en sorte que ses frais de construction n'excèdent pas ceux des systèmes reconnus pour les meilleurs. Nous n'avons pas perdu de vue cette condition en combinant le nôtre: on verra que sa dépense ne s'élève pas à celle du système de Mouzé, dont la construction en bois,

non compris les galeries d'escarpe et de contrescarpe, coûteroit environ 75,000 fr.

249. Cherchons d'abord ce que coûteroit une certaine longueur de chaque espèce de galeries et de rameaux, pour en déduire ensuite le prix du mètre courant.

1.° *Pour trente mètres de grande galerie en maçonnerie, préalablement boisée sous œuvre.*

62 Montans de 2,28 mètres de long sur 0,16 et 0,16 mètres 31 Chapeaux de 2,32 mètres de long sur 0,16 et 0,19 mètres 31 Semelles de 2,32 mètres de long sur 0,11 et 0,16 mètres	d'équarrissage, donnant	
7,071 Décimètres cubes de sapin de sciage, dont un cinquième en consommation; ci 1,415 décimètres cubes, à 46^{f} le mètre cube, font	65^{f}	—^{c}
108 Planches de sapin pour coffrages, de 30 intervalles de châssis, de 5,80 mètres de long, 0,27 mètres de large, et 0,03 mètres d'épaisseur, dont un cinquième en consommation; ci 22 planches, à 1,40 centimètres l'une, font	30	80
54 Madriers de sapin pour ciel, de 5,80 mètres de long, 0,27 mètres de large, et 0,04 mètres d'épaisseur, dont la moitié en consommation; ci 27 madriers, à 1^{f} 60^{c} l'un, font	43	20
12 Lattes de sapin pour tringles, de 5,80 mètres de long, à 0^{f} 30^{c} l'une	3	60
300 Clous de plancher, pour fixer les tringles, à 1^{f} 10^{c} le cent	3	30
150 Mètres carrés de maçonnerie en moellons, de 0,50 mètres d'épaisseur, à 9^{f} l'un	1350	—

32 Kilogrammes de fer de sujétion, dont $\frac{1}{8}$ en consommation, ci 4 kilogrammes, à 1^f l'un.	4^f —^{c}
4 Tambours, pour voûter, dont un en consommation, estimé	3 —
240 Journées de mineurs, employées à construire d'abord la galerie en bois, à 0^f 60^c l'une, font. .	144 —
15 Journées de sergens à 1^f l'une	15 —
20 Kilogrammes de chandelles à 1^f 70^c l'un	34 —
Menus frais, tels que réparations d'outils, consommation de faux châssis, de pointaux, de sablières, de petits châssis mobiles, d'échafaudages, et journées d'ouvriers d'art employés à façonner les bois, et de mineurs à les retirer, etc.	54 10
PREMIER TOTAL	1750^f —^{c}
Le vingtième pour l'entrepreneur.	87 50
SECOND TOTAL	1837^f 50^c
Le trentième, ou le prix du mètre courant, est de. .	61^f 25^c

2.° *Pour* 30 *mètres de demi-galerie en maçonnerie, préalablement boisée sous œuvre.*

62 Montans de 1,78 mètres de long sur 0,13 et 0,16 mètres.	d'équarrissage, donnant
31 Chapeaux de 1,90 mètres de long sur 0,16 et 0,19 mètres.	
31 Semelles de 1,90 mètres de long sur 0,11 et 0,16 mètres	
5,123 Décimètres cubes de sapin de sciage, dont un cinquième en consommation, ci 1,024 décimètres cubes, à 46^f le mètre cube, font	47^f 10^c
84 Planches de sapin, pour coffrage de 30 intervalles de châssis, de 5,80 mètres de long, 0,27 mètres de	

large et 0,03 mètres d'épaisseur, dont un cinquième en consommation; ci 17 planches, à 1^{f} 40^{c} l'une	23^{f}	80^{c}
42 Madriers de sapin pour ciel, de 5,80 mètres de long, 0,27 mètr. de large et 0,04 mètr. d'épaisseur, dont la moitié en consommation; ci 21 madriers, à 1^{f} 60^{c}. .	33	60
12 Lattes de sapin, pour tringles, de 5,80 mètres de long, à 0^{f} 30^{c} l'une	3	60
300 Clous de plancher, à 1^{f} 10^{c} le cent	3	30
120 Mètres carrés de maçonnerie de moelons, de 0,32 mètres d'épaisseur, à 7^{f} l'un.	840	—
32 Kilogrammes de fer de sujétion, dont $\frac{1}{8}$ en consommation; ci 4 kilogrammes, à 1^{f} l'un.	4	—
4 Tambours pour voûter, dont un en consommation, estimé	3	—
180 Journées de mineurs, à 0^{f} 60^{c} l'une.	108	—
12 Journées de sergent, à 1^{f} l'une.	12	—
15 Kilogrammes de chandelles, à 1^{f} 70^{c} l'un	25	50
Menus frais, expliqués à l'article précédent	46	10
PREMIER TOTAL.	1150^{f}	—^{c}
Le vingtième pour l'entrepreneur	57	50
SECOND TOTAL	1207^{f}	50^{c}
Le trentième, ou le prix du mètre courant, est de	40^{f}	25^{c}

3.° *Pour* 15 *mètres de grands rameaux, en maçonnerie préalablement boisée sous œuvre.*

32 Montans, de 1,38 mètres de long sur 0,13 et 0,16 mètres	d'équarrissage, donnant :
16 Chapeaux, de 1,70 mètres de long sur 0,16 et 0,16 mètres	
16 Semelles, de 1,70 mètres de long sur 0,11 et 0,16 mètres	

2,094 Décimètres cubes de sapin de sciage, dont $\frac{1}{5}$ en consommation; ci 419 décimètres cubes, à 46^f le mètre cube	19^f	25^c
33 Planches de sapin pour coffrage de 15 intervalles de châssis, de 5,80 mètres de long, 0,27 mètres de large et 0,03 mètres d'épaisseur, dont $\frac{1}{5}$ en consommation; ci 6 planches, à 1^f 40^c l'une . . .	8	40
19 Madriers de sapin pour ciel, de 5,80 mètres de long, 0,27 mètres de large et 0,04 mètres d'épaisseur, dont la moitié en consommation; ci 9 madriers, à 1^f 60^c l'un	14	40
6 Lattes de sapin pour tringles, de 5,80 mètres de long, à 0,30 centimes l'une; ci	1	80
150 Clous de plancher, à 1^f 10^c le cent.	1	65
45 Mètres carrés de maçonnerie de moelons, de 0,32 mètres d'épaisseur, à 7^f l'un	315	—
16 Kilogrammes de fer de sujétion, dont un huitième en consommation; ci 2 kilogrammes, à 1^f l'un . .	2	—
4 Tambours pour voûter, dont un demi en consommation, estimé	1	50
60 Journées de mineurs, à 0^f 60^c l'une	36	—
$7\frac{1}{2}$ Journées de sergens, à 1^f l'une.	7	50
8 Kilogrammes de chandelles, à 1^f 70^c l'un. . . .	13	60
Menus frais	18	90
PREMIER TOTAL.	440^f	—^{c}
Le vingtième pour l'entrepreneur.	22	—
SECOND TOTAL	462^f	—^{c}
Le quinzième, ou le prix du mètre courant, est de . .	30^f	80^c

4.° *Pour 30 mètres de grande galerie en bois, exécutée sous œuvre.*

62 Montans, de 1,96 mètres de long sur 0,13 et 0,13 mètres	d'équarrissage, donnant :	
31 Chapeaux, de 1,26 mètres de long sur 0,13 et 0,16 mètres.		
31 Semelles de 1,26 mètres de long sur 0,08 et 0,13 mètres		
3,273 Décimètres cubes de chêne de sciage, à 70^{f} le mètre cube		229^{f} 10^{c}
124 Planches de chêne, pour coffrage de 30 intervalles de châssis, de 4,32 mètres de long, 0,25 mètres de large et 0,03 d'épaisseur, à 1^{f} 30^{c} l'une . . .		161 20
38 Madriers de chêne pour ciel, de 4,52 mètres de long, 0,25 mètres de large et 0,04 mètres d'épaisseur, à 1^{f} 90^{c} l'un.		72 20
12 Lattes de sapin pour tringles, de 5,65 mètres de long, à 0^{f} 30^{c} l'une		3 60
300 Clous de plancher, à 1^{f} 10^{c} le cent		3 30
120 Journées de mineurs, à 0^{f} 60^{c} l'une		72 —
7½ Journées de sergens, à 1^{f} l'une.		7 50
7½ Kilogrammes de chandelles, à 1^{f} 70^{c} l'un . . .		12 75
Menus frais, tels que réparation d'outils, consommation de faux châssis, d'étrésillons, façon de charpente.		38 35
PREMIER TOTAL.		600^{f} —^{c}
Le vingtième pour l'entrepreneur.		30 —
SECOND TOTAL		630^{f} —^{c}
Le trentième, ou le prix du mètre courant, est de . .		21^{f} —^{c}

5.° *Pour 30 mètres de demi-galerie en bois, exécutée sous œuvre.*

62 Montans, de 1,46 mètres de long sur 0,11 et 0,11 mètres 31 Chapeaux, de 1,22 mètres de long sur 0,11 et 0,13 mètres 31 Semelles, de 1,22 mètres de long sur 0,08 et 0,11 mètres	d'équarrissage, donnant :	
1,969 Décimètres cubes de chêne de sciage, à 70^{c} le mètre cube	137^{f}	80^{c}
90 Planches de chêne pour coffrage de 30 intervalles de châssis, de 4,44 mètres de longueur, 0,25 mètres de large et 0,03 mètres d'épaisseur, à 1^{f} 30^{c} l'une	117	—
37½ Madriers de chêne pour ciel, de 4,44 mètres de long, 0,25 mètres de large et 0,04 mètres d'épaisseur, à 1^{f} 90^{c} l'un	71	25
24 Lattes de sapin, pour tringles, de 5,55 mètres de long, à 0^{f} 30^{c} l'une	7	20
600 Clous de plancher, à 1^{f} 10^{c} le cent	6	60
90 Journées de mineurs, à 0^{f} 60^{c} l'une	54	—
6 Journées de sergens, à 1^{f} l'une	6	—
7½ Kilogrammes de chandelles, à 1^{f} 70^{c} l'un	12	75
Menus frais, expliqués à l'article précédent	37	40
PREMIER TOTAL	450^{f}	—^{c}
Le vingtième pour l'entrepreneur	22	50
SECOND TOTAL	472^{f}	50^{c}
Le trentième, ou le prix du mètre courant, est de	15^{f}	75^{c}

6.° *Pour 15 mètres de grand rameau en bois, exécuté sous œuvre.*

32 Montans, de 1,06 mètres de long sur 0,08 et 0,11 mètres	d'équarrissage, donnant:	
16 Chapeaux, de 0,96 mètres de long sur 0,11 et 0,11 mètres		
16 Semelles, de 0,96 mètres de long sur 0,08 et 0,11 mètres		
620 Decimètres cubes de chêne de sciage, à 70^{f} le mètre cube		43^{f} 40^{c}
42 Planches de chêne, pour coffrage de 15 intervalles de châssis, de 4,44 mètres de long, 0,20 mètres de large et 0,03 mètres d'épaisseur, à 1^{f} 05^{c} l'une.		44 10
19 Madriers de chêne pour ciel, de 4,44 mètres de long, 0,20 mètres de large et 0,04 mètres d'épaisseur, à 1^{f} 60^{c} l'un; ci		30 40
12 Lattes de sapin pour tringles, de 5,55 mètres de long, à 0^{f} 30^{c} l'une		3 60
300 Clous de plancher, à 1^{f} 10^{c} le cent		3 30
40 Journées de mineurs, à 0^{f} 60^{c} l'une.		24 —
5 Journées de sergens, à 1^{f} l'une.		5 —
5 Kilogrammes de chandelles, à 1^{f} 70^{c} l'un		17 50
Menus frais		17 70
PREMIER TOTAL		180^{f} —^{c}
Le vingtième pour l'entrepreneur		9 —
SECOND TOTAL		189^{f} —^{c}
Le quinzième, ou le prix du mètre courant, est de. .		12^{f} 60^{c}

7.° *Pour* 15 *mètres de rameau en bois, exécuté sous œuvre.*

32 Montans, de 0,86 mètres de long sur 0,08 et 0,08 mètres	d'équarrissage, donnant :	
16 Chapeaux, de 0,81 mètres de long sur 0,08 et 0,11 mètres		
16 Semelles, de 0,81 mètres de long sur 0,08 et 0,08 mètres		
374 Décimètres cubes de chêne de sciage, à 70^{f} le mètre cube		26^{f} 20^{c}
34 Planches de chêne pour coffrage de 15 intervalles de châssis, de 4,32 mètres de long, 0,20 mètres de large et 0,03 mètres d'épaisseur, à 1^{f} 05^{c} l'une . .		35 70
15 Madriers de chêne pour ciel, de 4,32 mètres de long, 0,20 mètres de large et 0,04 mètres d'épaisseur, à 1^{f} 60^{c} l'un.		24 —
12 Lattes de sapin pour tringles, de 5,40 mètres de long, à 0^{f} 30^{c} l'une		3 60
300 Clous de plancher, à 1^{f} 10^{c} le cent		3 30
40 Journées de mineurs, à 0^{f} 60^{c} l'une		24 —
5 Journées de sergens, à 1^{f} l'une.		5 —
5 Kilogrammes de chandelles, à 1^{f} 70^{c} l'un		8 50
Menus frais		19 70
PREMIER TOTAL		150^{f} —^{c}
Le vingtième pour l'entrepreneur		7 50
SECOND TOTAL		157^{f} 50^{c}
Le quinzième, ou le prix du mètre courant, est de. .		10^{f} 50^{c}

250. *Tableau de la dépense à laquelle se monteroit la construction, soit en maçonnerie, soit en bois, des galeries et rameaux de notre système, non compris les galeries d'escarpe et de contrescarpe, et les rameaux de la première de ces galeries.*

QUANTITÉS.	ESPÈCE DE GALERIES et de rameaux.	PRIX DU MÈTRE courant,		PRIX DES QUANTITÉS.	
		En maçonnerie.	En bois.	En maçonnerie.	En bois.
		Fr. C.	Fr. C.	Fr. C.	Fr. C.
703 mètres (361 toises)...	Grande galerie.	61 25	21 00	43058 75	14793 00
1742 mètres (896 toises)...	Demi-galerie..	40 25	15 75	70115 50	27436 50
2273 mètres (1166 toises)...	Grand rameau..	30 80	12 60	70008 40	28639 80
82 mètres (43 toises)...	Rameau.....	.....	10 50	861 00	861 00
TOTAL,	en maçonnerie.....			184043 65	
	en bois.....			.....	71730 30

251. Les bons systèmes de mines défensives ayant leurs galeries d'escarpe et de contrescarpe, qui coûtent autant dans tous, et la comparaison qu'on voudroit faire des frais de construction de ces systèmes ne portant point sur leurs frais communs; nous n'avons évalué, dans notre estimation, que les frais qui pouvoient varier. Par la raison aussi que nos fourneaux n'ont pas des positions précisément déterminées, et que les rameaux qui partent de la galerie d'escarpe peuvent être faits en bois, pendant la durée même de la défense, ou exécutés en maçonnerie quelque temps avant le siége, suivant qu'on a ou non la faculté de s'enfoncer

au-dessous du sol du fossé, nous n'avons pas non plus évalué ces diverses constructions; et nous nous bornons à prévenir que les matériaux qu'elles exigent doivent faire partie de l'approvisionnement de siége pour le service des mines, lequel, outre la poudre, se compose de coffres, d'auges, de saucissons, de bois de bourrage, de sacs à terre, de chandelles, de bougies, d'outils, et enfin de bois de charpente, de planches et de madriers, pour les fouilles que le mineur assiégé a occasion d'exécuter pendant le cours de la défense.

Quand les mines de la place sont humides, on joint à cet approvisionnement du goudron, de la poix et du suif. L'usage de ces derniers objets se verra à la section suivante.

SECTION III.

Application de l'art du mineur à la défense des ouvrages de campagne.

252. PRESQUE tous les ouvrages qui composent la fortification passagère, les têtes de pont, les redoutes qui font partie des camps retranchés ou des lignes qui couvrent un pays, celles jetées en avant des places pour occuper des points importans, les fortins qui ferment des gorges, ou masquent des passages, etc., sont susceptibles de recevoir du mineur un degré de force de plus : et il est d'autant plus aisé de le leur donner, que les petits fourneaux, ou fougasses, dont l'on fortifie ces ouvrages, pouvant se construire

sans rameaux, même des plus petites dimensions, il suffit qu'on puisse s'enfoncer d'un mètre (3^{pieds}) seulement au-dessous de la surface du terrain sans trouver l'eau, pour que leur exécution soit possible.

Quatre choses sont à considérer dans la confection d'un appareil de feux souterrains propre à la défense d'un ouvrage de campagne : l'emplacement et l'arrangement des fougasses, leur construction, les précautions à prendre pour les garantir de l'humidité, et les dispositions à faire pour y porter le feu à volonté ou à temps utile.

Nous allons présenter nos détails sous la forme de relation; et ce que les mineurs ont fait en l'an 5 à la défense de Kehl, sera la matière de notre récit.

253. *Emplacement et arrangement.* Le siége alloit commencer lorsque les mineurs furent appelés à la défense de Kehl : il étoit même certain qu'avant d'être en mesure de travailler, rien n'étant préparé à l'avance, les batteries de la première parallèle auroient déjà joué. Toutefois rien n'indiquant que les Autrichiens songeassent à anticiper le moment des assauts ; tout prouvant, au contraire, que l'époque où on auroit à repousser de vives attaques étoit encore éloignée, on voulut que les mineurs missent la main à l'œuvre, et on désigna pour l'emplacement des fougasses à exécuter, les saillans des ouvrages, comme points principaux sur lesquels se dirigeroit l'ennemi. Pour ne pas épuiser tous les feux souterrains à l'occasion d'une première attaque, ainsi que pour en avoir à opposer aux colonnes marchant sur les faces des ouvrages, on désigna encore d'autres emplacemens en avant de ces faces. Tous ces emplacemens étoient bons, leur choix étant le résultat de la connoissance

des localités et de la force numérique des assaillans. A l'égard du nombre des fougasses à réunir dans la même explosion, et de l'arrangement à donner à celles d'une même tige, comme il falloit que le travail, pour pouvoir être exécuté promptement, fût facile, on se contenta de tiges à trois fougasses, disposées comme on le voit à la figure 95. Ainsi projeté, sept ou huit mineurs, aidés de quelques servans, exécutoient complétement une de ces tiges en une nuit.

254. Construction. On ne pouvoit disposer à Kehl que d'environ 1,6 à 1,7 mètres (5^{pieds}) de terre; plus bas on auroit trouvé l'eau. On convint en conséquence de suppléer par de grandes charges à la foiblesse de la ligne de moindre résistance, et de composer chaque fougasse de huit bombes de douze pouces, entièrement remplies de poudre, rangées dans un coffre de même hauteur dans œuvre que le diamètre des bombes. Ce coffre, de trois diamètres de bombes en carré à la base, pouvoit contenir exactement neuf bombes: le vide que laissoit l'absence de celle du milieu contenoit un sachet conique, dont la grande ouverture recevoit les bouts des saucissons sortant de la lumière des bombes; la petite ouverture recevoit l'extrémité du saucisson venant de l'auget. Chaque bombe contenant 8,32 kilogrammes (17^{livres}) de poudre, la charge de chaque fougasse étoit par conséquent de 66,57 kilogrammes (136^{livres}), et celle de chaque tige de 199,71 kilogrammes (408^{livres}). On creusa les emplacemens *B, C, D,* des coffres, d'environ 1,6 à 1,7 mètres (5^{pieds}) de profondeur, et les tranchées des augets ne furent creusées qu'autant qu'il le falloit pour les mettre de niveau avec le dessus des coffres. De cette manière, les coffres et les augets étant placés, ceux-ci s'appuyoient sur les couvercles de ceux-

là, et les saucissons, sortant de l'intérieur des coffres par une ouverture pratiquée au centre des couvercles, entroient dans les augets, et se réunissoient en *A* avec le saucisson venant du point *G* derrière les palissades. A chacun des points *G* fut placée une boîte de Boules pour mettre le feu.

255. Précautions contre l'humidité. Le foible enfoncement des fougasses au-dessous du sol, un mois et au-delà qui pouvoit s'écouler avant qu'elles jouassent, la facilité avec laquelle se détrempent les terres fraîchement remblayées, la saison d'hiver ; tout faisoit craindre que les poudres des charges et des saucissons ne devinssent humides et ne prissent pas feu quand on le voudroit. Dans l'appréhension d'éprouver un si fâcheux contre-temps, on arrêta que les coffres et les augets seroient doubles ; que les intérieurs seroient soigneusement goudronnés en dedans et en dehors, et que les extérieurs le seroient seulement en dedans. On fit d'ailleurs un ample approvisionnement de suif, pour en appliquer sur les jonctions des augets avec les coffres et des augets entre eux. Ce travail fut parfaitement soigné, quoique exécuté de nuit et sous le feu de l'ennemi. Aussi, lorsqu'après la capitulation, près d'un mois après l'achèvement des dernières fougasses, les mineurs déterrèrent le matériel de celles qui n'avoient pas joué pendant la défense et qu'on ne vouloit pas laisser aux Autrichiens, ils trouvèrent les poudres aussi saines et aussi sèches que lorsqu'ils les avoient employées.

256. Disposition pour mettre le feu à volonté. Un mineur placé en *G*, près de chaque boîte de Boules, étoit chargé d'entretenir constamment des étoiles allumées, et d'en placer une, à la moindre alerte, sur la planchette à tiroir : il avoit ordre de ne quitter son poste qu'à la dernière extrémité. A

un autre mineur placé en X, dans l'intérieur de l'ouvrage, étoit commis le soin de tirer, à temps utile, la ficelle qui de la planchette venoit à lui; et afin que les défenseurs circulant dans le chemin couvert et le fossé ne pussent s'embarrasser dans cette ficelle, elle étoit reçue, à quelque distance de la boîte à feu, dans un auget profilant le terre-plein du chemin couvert, la contrescarpe et le fond du fossé. Cet auget, enterré de quelques doigts pour qu'il ne fût pas heurté par les pieds des passans, avoit ses brisures arrondies et graissées, pour diminuer l'effet du frottement et faciliter le jeu de la ficelle. Au moyen de ces dispositions le feu pouvoit être mis aux fougasses à volonté, depuis la fin du travail jusqu'à la reddition. Une seule bombe de l'ennemi, tombée sur une des tiges, y mit le feu; mais aucun autre projectile, quoique l'ennemi eût plus de cent bouches à feu en batterie, ne nuisit ni aux autres tiges, ni aux boîtes de Boules, ni aux augets des ficelles.

257. Effets des fougasses. En général les mines sont faites pour effrayer et détruire. Celles qui défendent les ouvrages de campagne, étant destinées à porter le désordre dans les colonnes d'attaque, pour favoriser les retours offensifs des défenseurs, doivent donc aussi produire les deux effets dont nous venons de parler. Pour le premier effet il a toujours suffi que l'ennemi fût prévenu de l'existence des mines et qu'il en soupçonnât sous tous les points accessibles pour lui. Le moyen de les rendre destructives est de les composer de bombes chargées, peu enfoncées sous terre, et de faire en sorte qu'on puisse y porter le feu à volonté. Les fougasses exécutées à Kehl avoient éminemment la propriété d'épouvanter et de détruire. Commencées à dessein sous les

yeux de l'ennemi, elles agirent sur son moral du moment qu'il en eut connoissance, et elles lui prescrivirent, autant que toute autre chose peut-être, l'attitude circonspecte qu'il garda pendant toute la durée du siége. Composées de trois fois huit bombes, contenant ensemble la charge d'un gros fourneau, quoiqu'elles n'eussent guère plus d'un mètre (3^{pieds}) de terre au-dessus d'elles, cette terre, les éclats de bombes que vomirent celles que l'on fit jouer, la pyramide de feu qui jaillit du sein de la terre, ce spectacle terrible intimida les Autrichiens, leur commanda de respecter le front de nos ouvrages, et les força d'attendre que leur artillerie, postée bien loin de la sphère d'influence de nos fougasses, eût ruiné nos communications sur le Rhin, et nous fît capituler. Pl. XIV.

Mais comme tous les ouvrages de campagne ne sont point aussi formidables qu'une grande tête de pont, et qu'on n'a pas toujours ce qu'il faut pour préparer des fougasses telles que celles de Kehl, soit qu'on n'ait pas assez de bombes, qu'on en manque tout-à-fait, ou qu'on ne puisse se procurer assez tôt les accessoires nécessaires pour garantir les poudres de l'humidité, nous allons faire connoître les procédés par lesquels on supplée, dans toutes les circonstances, à ceux que nous venons de détailler.

258. Soit un ouvrage ayant un chemin couvert comme ceux de Kehl, sous les glacis duquel on veuille avoir des fougasses. Supposons qu'on manque de bombes et de goudron, mais, en revanche, qu'on peut s'enfoncer de deux mètres (6^{pieds}) au-dessous de la banquette du chemin couvert sans trouver l'eau; qu'on a des bois propres à façonner des cadres et des châssis, et qu'on n'est pas commandé par le temps: voici ce qu'on peut faire dans cette hypothèse. On *Fig.* 95.

creuse des puits *G* de deux mètres (6^{pieds}) de profondeur et d'un mètre (3^{pieds}) en carré, et on chemine en rameau du fond de chaque puits, pour gagner les emplacemens *B*, *C*, *D*, des fougasses, auxquelles on donnera au plus trois mètres (9^{pieds}) de ligne de moindre résistance; le moment de charger étant venu, on chargera chaque fougasse comme un fourneau de 3,25 mètres (10^{pieds}), on arrangera les augets, et on coudera celui *AG* pour le faire grimper, avec son saucisson, du fond de chaque puits à son ouverture. On bourrera solidement les rameaux; on damera fortement les terres du bourrage des puits; on placera des boîtes de Boules en *G*, et on fera des dispositions pour être maître de faire feu à volonté, comme il a été dit au numéro 256.

Si la fraîcheur du terrain faisoit craindre que les poudres ne contractassent de l'humidité, voici ce qu'on pourroit faire, au défaut de goudron, pour les en garantir: se procurer de grandes cruches de terre cuite, pour contenir la poudre des charges; avoir des saucissons de 0,04 mètres (18^{lignes}) de diamètre, et, avant de les remplir de poudre, les faire tremper dans du suif fondu jusqu'à ce qu'ils en soient imprégnés; les laisser refroidir, et les frotter légèrement, tant pour assouplir la toile que pour faire pénétrer du suif dans les interstices et enlever le superflu.

Si les terres étoient humides au point de filtrer, on joindroit aux moyens que nous venons d'indiquer les précautions suivantes. Comme il doit y avoir une pente marquée de *B*, *C*, *D*, en *A*, et d'*A* en *G*, on pratiqueroit des rigoles, le long des rameaux, jusqu'au fond des puits, où l'on creuseroit des puisards pour recueillir les eaux; on tiendroit les augets élevés de quelque chose au-dessus des rigoles, et on observeroit, pen-

dant le travail du bourrage, de ne remplir ni les rigoles, ni l'interyalle ménagé au-dessous de l'auget, ni les puisards. Pl. XIV.

Les fougasses de ce genre ayant contre elles la lenteur d'exécution et la quantité de bois qu'elles exigent, faisons en connoître d'autres qui ne demandent que peu de temps et point de bois.

259. Supposons qu'on n'ait ni bombes, ni bois, ni goudron; qu'on ait peu de temps devant soi, et qu'on veuille pourtant des fougasses en avant de l'ouvrage. Les seules conditions nécessaires, dans ce cas, sont de pouvoir s'enfoncer suffisamment pour que les charges soient au-dessous de la profondeur à laquelle peuvent pénétrer les eaux de pluie; que le terrain ait quelque consistance, et qu'on ait des saucissons préparés comme nous l'avons dit tout à l'heure. Cela convenu, voici comment s'exécutent les fougasses. On fait, sans entrer dedans et par conséquent sans cadres, des puits *B*, *C* et *D*, de deux mètres (6^{pieds}) de profondeur au moins, ou de trois mètres (9^{pieds}) au plus, si on peut aller jusques-là sans noyer les poudres : on creuse des tranchées *BA*, *CA*, *DA* et *AG*, les trois premières commençant à 0,65 mètres (2^{pieds}) pour finir à 1,15 mètres (3^{pieds} 6^{pouces}), et la dernière commençant à ce terme pour finir à deux mètres (6^{pieds}); elles ont ainsi une pente vers le chemin couvert. Cela fait, on descend la charge de chaque fougasse au fond de chaque puits, et on adapte au vaisseau qui la contient (un coffre ou une cruche) un auget renfermant un saucisson qui soit en communication avec la charge et qui se coude à l'ouverture du puits. On bourre les puits. On plante ensuite des piquets de distances à autres sur le sol des tranchées, pour y clouer les augets, et on observe Fig. 95.

*

que leurs têtes le surmontent d'environ un travers de main. Les augets étant fixés sur les piquets, on rassemble autour d'eux des pierres, à travers les interstices desquelles puissent couler les eaux qui pénétreroient jusques-là, et on achève de combler les tranchées avec des terres damées fortement. On place enfin les boîtes de Boules en *G*, et on dispose les augets pour les ficelles, comme nous l'avons dit numéro 256.

Ces fougasses étant, comme celles à bombes, susceptibles d'être commencées en présence de l'ennemi et achevées en peu de temps, on leur doit la préférence, dans la guerre de campagne, sur celles à rameaux; car ces dernières demandent beaucoup de temps et de matériaux, et ne conviennent guères qu'aux redoutes jetées en avant des places menacées de siége.

260. Nous venons de parler de puits qu'on fait sans y entrer: disons ce qu'il faut pour les faire. On a des louchets et des dragues à longs manches, les uns servant à détacher les terres, et les autres à les enlever du fond des puits. Les puits ainsi creusés, pouvant n'avoir que 0,5 mètres (18^{pouces}) en carré, et même encore moins, en sont moins sujets à débourrer, et sont par conséquent d'un très-bon usage dans la confection des fougasses. Quand on a de tels puits à creuser dans des terrains très-durs, il est avantageux que le louchet et son manche soient du même morceau de fer, et que le coupant n'ait qu'environ 0,12 mètres (4^{pouces}) de largeur.

261. Lorsque les ouvrages de campagne sont sans chemin couvert, ce qui a souvent lieu, on peut rarement leur adapter d'autres fougasses que celles à bombes et à puits. Celles

à rameaux y sont ordinairement inexécutables, par la raison que les fossés peu profonds de ces ouvrages recueillant les eaux pluviales et ne les perdant que par absorption, la présence des eaux ne permet pas d'ouvrir les rameaux assez bas pour qu'ils aient suffisamment de terre au-dessus de leurs ciels. La même raison empêche aussi de placer les boîtes de Boules dans le talus des contrescarpes: on les place à la gorge des ouvrages. Pour de là communiquer le feu aux charges, on établit, le long et un peu au-dessous du bord des contrescarpes, des augets qui reçoivent les saucissons des tiges de fougasses à leur sortie dans le fossé, et les conduisent aux emplacemens des boîtes à feu. Ces augets restent vides tant qu'on n'est pas menacé, et on n'y dépose les saucissons, que l'on conserve en attendant dans des barils, qu'au moment du besoin. Nous pensons qu'il est mieux de disposer ainsi les augets que de leur faire traverser le fossé et le parapet, comme on l'a fait quelquefois. Pl. XIV.

262. Il nous reste à expliquer comment on emploie des bombes, chargées en *chapelets* ou de toute autre manière, pour tenir lieu de fougasses quand on ne veut ou qu'on ne peut en faire. Cet emploi des bombes consiste, après en avoir arrêté l'arrangement, à les enterrer à environ un mètre (3^{pieds}) de profondeur; à les lier par des saucissons, et à tout disposer pour y porter le feu comme on le porte aux fougasses. Quand le terrain est humide, ou qu'on prévoit que les bombes resteront long-temps sous terre, on emploie les précautions que nous avons indiquées plus haut pour garantir de l'humidité la poudre des saucissons, et on entoure de suif les lumières des bombes, afin qu'entre elles et l'auget qui porte dessus il ne puisse pénétrer d'eau. *Fig. 96 et 97.*

Les chapelets ou les autres dispositions de bombes s'exécutent non-seulement en avant des ouvrages de campagne, mais encore dans le terre-plein des chemins couverts, et dans les fossés des petites places qu'on ne juge point à l'abri des insultes d'un parti ennemi.

Quand un chapelet s'exécute sur un saillant, on peut le renfermer, comme celui de la figure 96, entre deux arcs parallèles à l'arrondissement de la contrescarpe, ou entre deux droites perpendiculaires au prolongement de la capitale de l'ouvrage. Ce dernier tracé s'emploie particulièrement quand les chapelets s'exécutent parallèlement aux faces, sur les glacis, dans les chemins couverts, ou dans les fossés.

Un compassement de feux tel que toutes les bombes d'un chapelet éclatent à la fois étant long à faire et exigeant beaucoup de saucissons et d'augets, on préfère tenir les bombes assez près les unes des autres, à deux ou trois mètres (6 à 9^{pieds}), pour que le feu arrivant à deux ou trois bombes en même temps, leur explosion n'interrompe pas la communication du feu aux bombes voisines. On n'a donc rien à craindre de ce côté. Mais le rapprochement indispensable des bombes en chapelets obligeant d'en employer beaucoup plus pour le même espace qu'en les disposant comme à la figure 97, nous croyons que cette dernière disposition, ou toute autre analogue, mérite la préférence sur les chapelets, et nous proposons en conséquence de supprimer ceux-ci.

SECTION IV.

De l'approvisionnement en outils pour une compagnie de mineurs en campagne.

263. Les mineurs renfermés dans une place pour y travailler ou la défendre, y trouvent les outils dont ils ont besoin : il n'en est pas de même de ceux qui marchent à la suite d'une armée engagée ou non dans une guerre de siége. Ceux-ci, appelés à concourir à la conquête d'une place, ou occupés de constructions et de démolitions, sont forcés de transporter avec eux les outils qu'exigent ces divers travaux, n'y ayant pas d'apparence qu'on les puisse trouver partout où ils seront nécessaires. Il est donc indispensable d'attacher à toute compagnie de mineurs faisant partie d'une armée, un fourgon capable de contenir tous les outils dont elle peut avoir occasion de se servir, soit pour édifier, soit pour détruire. Nous allons en conséquence, et d'après les besoins que nous avons eus à la guerre, déterminer l'espèce et les quantités d'outils dont une compagnie de force à fournir soixante travailleurs doit être munie en campagne. Nous joindrons le prix et le poids de chaque quantité, et de cette manière on connoîtra ce que coûte et pèse la totalité de l'approvisionnement. »

Nous estimons que le fourgon, contenant tous ces objets, doit être attelé de quatre forts chevaux, pour pouvoir être facilement traîné partout et aller bon train.

Équipage de guerre d'une compagnie de mineurs.

QUANTITÉ.	ESPÈCES D'OUTILS.	PRIX par quantité.	POIDS de chaque quantité.
	Outils de pétardement.	Fr. Cent.	kilogram.
5	Aiguilles ou barres à mines.	50	50
15	Pistolets	90	120
10	Curettes	20	10
10	Épinglettes	20	10
10	Masses à frapper au pistolet	40	40
5	Masses à pannes pour briser le roc .	30	30
10	Refouloirs sabotés et virolés en cuivre.	40	10
2	Boîtes à poudre en fer blanc	6	1
	Outils de mines et de démolitions.		
20	Pioches ordinaires.	60	60
10	Pioches plus petites	20	20
10	Pics à têtes.	20	20
10	Pics à deux pointes	20	20
10	Pics à tranches	20	20
20	Pelles rondes	60	40
10	Pelles carrées ou louchets ordinaires .	20	20
4	Louchets à gazon	20	12
4	Dragues ou pelles carrées recourbées.	8	8
4	Langues-de-bœuf.	12	12
2	Pinces un peu fortes	30	30
10	Pinces plus petites.	40	40
6	Marteaux de maçon	12	12
20	Poinçons à grain d'orge	40	40
20	Ciseaux	40	40
10	Coins de fer	30	30

QUANTITÉ.	ESPÈCES D'OUTILS.	PRIX par quantité.	POIDS de chaque quantité.
		Fr. Cent.	kilogram.
15	Petites masses à main	30	30
4	Petites scies	10	4
4	Hachettes	16	6
4	Marteaux à pannes fendues	5	2
12	Vrilles	6	1
4	Niveaux de maçon	4	4
4	Plombs	4	2
6	Règles d'un mètre	3	3
2	Pelotes de cordeaux	6	2
2	Pelotes de ficelle	3	1
6	Marteaux de cuivre	15	3
10	Chandeliers de mineurs	10	10
300	Chandelles	42 50	25
5	Lanternes	40	2
60	Bougies	30	5
1000	Clous de 6 centimètres	11	7
200	Clous de 9 *idem*	5	2
2	Mesures en fer-blanc, contenant 2 kilogrammes de poudre	2	1
2	Entonnoirs pour remplir les saucissons à l'aise	3	1
6	Sacs de cuir, ou basane, contenant 25 kilogrammes de poudre	36	9
200	Mètres de saucissons en toile très-serrée	60	8
1	Un assortiment de briquets, pierres à feu et amadou	14 50	2
	Outils d'ouvriers d'art.		
1	Scie moyenne à refendre	8	4

QUANTITÉ.	ESPÈCES D'OUTILS.	PRIX par quantité.	POIDS de chaque quantité.
		Fr. Cent.	kilog ram.
1	Passe-partout	10	4
2	Scies moyennes à débiter	6	4
2	Scies plus petites	5	3
2	Haches à long manche	9	3
2	Haches à main	10	3
2	Herminettes	10	3
1	Besaiguë	10	3
2	Tarières	4	2
1	Vilbrequin et ses mèches	8	1
2	Planes	4	2
2	Ciseaux ou fermoirs	2	1
2	Bédânes	2	1
2	Gouges ou amorçoirs	4	1
1	Varloppe	4	3
1	Demi-varloppe	4	3
1	Rabot	2	1
2	Marteaux ou rivoirs	2	1
2	Tricoises ou tenailles	8	2
2	Rainettes tourne-à-gauche	2	
6	Tiers-points pour limer les scies	3	
1	Compas de fer, faisant équerre	4	
2	Petits compas	3	5
12	Doubles-décimètres	18	
6	Pierres à affiler	3	
	Craie noire et blanche	1	
	Prix et poids de tout l'équipage	1250	875

SECTION V.

Des démolitions.

264. Il n'est sans doute pas inutile, dans un traité des mines, de parler de la manière dont s'exécutent les différentes démolitions que commandent les événemens militaires ou des raisons politiques : nous croyons cette partie aussi intéressante que toute autre. Tout-à-fait négligée jusqu'ici, il est temps de la traiter à fond, si l'on veut profiter de l'expérience qu'ont fait acquérir tant de forteresses démolies en Italie et en Allemagne, et éviter que l'officier chargé pour la première fois de démanteler une place, de renverser des édifices, de faire sauter des ponts, etc., ne soit toujours obligé, à force d'essais et de tâtonnemens, à se créer lui-même des règles pour l'avenir. Nous espérons nous-mêmes fixer ces règles par la méthode que nous emploierons. Persuadés que les exemples sont généralement ce qu'il y a de mieux pour instruire, nous tirerons nos détails des notes que nous avons faites sur des démolitions exécutées sous nos yeux, ou de sources aussi sûres. Les jeunes officiers reconnoîtront qu'ici, comme dans tous le cours de cet ouvrage, on s'est efforcé de leur offrir des faits plutôt que des décisions tranchantes ou hasardées.

265. Dans les maçonneries comme dans les terres, les charges doivent toujours être relatives à la qualité des milieux où la poudre agit. Voici, en conséquence, les élémens de ces charges pour cinq variétés de maçonnerie.

Tableau des charges pour la démolition des maçonneries.

ESPÈCES DE MAÇONNERIE.	QUANTITÉ DE POUDRE pour	
	Une toise cube.	Un double mètre cube.
	livres.	kilogrammes.
Nouvelles ou vieilles maçonneries, restées ou devenues humides, comme il s'en trouve dans les pays aquatiques et où le mortier est mauvais	15 à 16	7,94 à 8,47
Maçonneries ordinaires, ou dont le mortier n'est pas d'une qualité supérieure	18 à 19	9,53 à 10,05
Nouvelles maçonneries très-bonnes, ou dont le mortier est excellent.	27	14,30
Vieilles maçonneries de même espèce	30	15,89
Maçonneries romaines, ou aussi solides.	35	18,33

Comme il est incontestable qu'il y a d'autres qualités de maçonnerie que celles ci-dessus, le plus sûr pour les bien connoître, quand on a des démolitions un peu considérables à exécuter, est de faire jouer un fourneau d'épreuve, et de juger par son effet s'il y a quelque chose ou non à changer aux élémens de sa charge.

266. La façon de démolir dépend des moyens qu'on a. On peut être limité par le temps, ou avec du temps on peut n'avoir qu'un petit nombre de travailleurs. La manière de procéder dans un de ces cas n'est pas la même que dans l'autre. Ainsi nous allons d'abord supposer qu'on a peu de mineurs, et, pour commencer par la chose la plus facile et la plus ordinaire, qu'il s'agit de renverser une face de bastion. On ne pourra mieux faire, en pareille circonstance, que de s'y prendre comme à Turin quand on fit sauter la

face droite du bastion gauche de la porte du Pô. Décrivons le procédé qu'on a suivi. Pl. XIV.

267. 1.er *Exemple.* La hauteur du revêtement étoit d'environ dix mètres (30^{pieds}); la longueur de la face de quatre-vingt-dix-sept mètres (50^{toises}), et l'épaisseur présumée du mur, au niveau du fossé, de 2,44 mètres (7^{pieds} 6^{pouces}). Les contre-forts n'ayant pas un mètre (3^{pieds}) d'épaisseur et étant inégalement espacés, on n'y eut point égard dans le choix de l'emplacement des fourneaux. On mesura donc, à partir de l'angle saillant, au pied de l'escarpe, 3,90 mètres (2^{toises}), et là fut placée la première attaque de mineurs. La seconde le fut à 7,80 mètres (4^{toises}) de la première; la troisième à la même distance de la seconde, et ainsi de suite jusqu'à l'angle d'épaule. On perça le revêtement perpendiculairement à sa direction; et au lieu de 2,44 mètres (7^{pieds} 6^{pouces}) d'épaisseur, on ne lui trouva que 2,27 mètres (7^{pieds}), attendu qu'il surplomboit de 0,17 mètres (6^{pouces}) du côté des terres. On chemina, au moyen de châssis, à droite et à gauche derrière le revêtement, et on plaça un fourneau à chaque retour, à la distance de 1,95 mètres (6^{pieds}) du centre du rameau d'entrée. Les fourneaux rentroient de toute leur capacité dans l'intérieur du mur. On voit, par cette disposition, que les effets des fourneaux n'étaient pas tangens, qu'ils se recroisoient de quelque chose; mais ce recroisement fut estimé nécessaire pour tenir compte des contre-forts, dans lesquels on n'avoit pas placé les fourneaux, comme on doit pourtant le faire quand ils ont deux mètres (6^{pieds}) d'épaisseur. Fig. 98.

La maçonnerie étant de la meilleure qualité, et une autre raison qui sera expliquée plus bas se joignant encore à celle-là, les fourneaux furent chargés de quarante-quatre kilogrammes

(90^{livres}) de poudre : ce qui étoit un peu plus que la charge qu'on auroit reglée à raison de 15,89 kilogrammes (30^{livres}) par double mètre (1^{toise}) cube; car, en admettant la formule $\frac{11}{6} R^3$ (numéros 186 et 193), le solide de l'entonnoir, quand $R = 2{,}27$ mètres (7^{pieds}), est de 2,68 doubles mètres (2,91^{toises}) cubes, qui ne demandent que 43,58 kilogrammes (87,30^{livres}) de poudre. Au moyen d'un compassement de feux fait sur le sol du fossé, et d'une boîte de Boules établie au foyer commun de ce compassement, on fit sauter à la fois tous les fourneaux préparés sur la longueur de la face. Le revêtement fut entièrement culbuté, et il ne resta aucune trace des contre-forts. Les décombres ne dépassèrent point le fossé; et si quelques bois de bourrage furent lancés sur le glacis, c'est que cela est inévitable quand on attaque les revêtemens par le pied.

268. Quoique très-solide, la meilleure des maçonneries de Turin n'auroit pas exigé 15,89 kilogrammes (30^{livres}) de poudre par double mètre (1^{toise}) cube, si dans certaines parties les terres appuyées au revêtement n'eussent été extrêmement légères et coulantes : cette qualité du terrain, contraire à la réaction du fluide de la poudre contre les murs à renverser, détermina à augmenter d'un quart la charge des fourneaux. Ainsi, si les terres eussent eu la consistance des terres argileuses anciennement rapportées, ou si les fourneaux eussent été placés dans des contre-forts de deux mètres (6^{pieds}) d'épaisseur, il n'auroit fallu les charger qu'à raison de 12,70 kilogrammes (24^{livres}) par double mètre (1^{toise}) cube.

269. Supposons maintenant que la démolition de la même face doive s'exécuter le plus promptement possible, et qu'on ait assez de mineurs pour pouvoir travailler à la fois sur

toute son étendue. Dans ce cas on fera autant de rameaux d'entrée que l'on voudra avoir de fourneaux : on appuiera chacun des fourneaux immédiatement à son rameau, et de cette manière on gagnera tout le temps qu'exige l'exécution des retours. La figure 99 explique seule ce que nous voulons dire : voici au reste comment on s'est conduit, en l'an X, à Metz pour renverser la face droite d'un des bastions de la citadelle. Décrire la marche que l'on suivit et que le résultat fit trouver bonne, c'est indiquer ce qu'on doit faire en pareil cas, ou d'après notre nouvelle supposition. Pl. XIV.

270. 2.e *Exemple.* Le revêtement avoit 5,20 mètres (16^{pieds}) d'épaisseur à la hauteur où furent placées les attaques; mais comme on ne voulut donner aux fourneaux que 3,90 mètres (12^{pieds}) de ligne de moindre résistance vers le fossé, afin d'en avoir une plus forte dans tout autre sens, on plaça la première attaque à 4,55 mètres (14^{pieds}) du saillant; la seconde à 7,80 mètres (4^{toises}) de la première, et cette dernière distance fut observée pour toutes les autres attaques jusqu'à l'orillon. Chaque rameau d'entrée ayant été poussé convenablement, son fourneau fut placé sur son flanc droit : de cette manière les effets des fourneaux étoient tangens. On les chargea à raison d'un peu plus de 10,89 kilogrammes (20^{livres}) par double mètre (1^{toise}) cube, et les ayant tous fait partir ensemble, la face et les contre-forts très-épais croulèrent par gros blocs. La destruction d'un revêtement étant aussi sûre et aussi complète de cette manière que de l'autre, l'adoption particulière de l'une des deux dépend du temps ou des hommes dont on peut disposer. Fig. 100.

271. Dans ce dernier exemple, où le revêtement, est-il dit, avoit 5,20 mètres (16^{pieds}) d'épaisseur, on n'a pas placé

Pl. XIV. les fourneaux derrière le revêtement, parce que, relativement au poids et à la ténacité comparatifs des terres et de la maçonnerie, la ligne de moindre résistance auroit été tournée vers le terre-plein du rempart. D'ailleurs l'expérience a démontré qu'il suffit de couper brusquement, par le jeu des mines, les gros murs terrassés, aux 0,75 de leur épaisseur, c'est-à-dire un peu au-delà de leur centre de gravité, pour déterminer la chute du tout. On ne doit donc pas négliger les avantages économiques de temps et de poudre qui résultent du placement des fourneaux aux 0,75 de l'épaisseur des gros revêtemens, à compter de leur parement extérieur.

272. Expliquer les diverses manières de renverser une face de bastion, c'est dire ce qu'il faut faire pour renverser toutes sortes de murs terrassés, comme flancs, courtines, contrescarpes, etc. Supposons donc toujours une face à détruire, et continuons à détailler les moyens de la culbuter.

Fig. 101. Lorsqu'il y a de l'eau dans les fossés et qu'elle s'élève au-dessus de la hauteur à laquelle on veut placer les fourneaux, ou bien, lorsque, l'eau ne s'élevant pas à cette hauteur, on manque de radeaux ou de tout autre échafaudage pour pouvoir attaquer le revêtement, on est dans l'usage de descendre des puits le long du parement intérieur, et par leur moyen on va placer des fourneaux où l'on veut en avoir.

Cette méthode qui, parce qu'elle exige beaucoup de cadres de puits, ne doit être employée que quand on ne peut faire autrement, ne vaut d'ailleurs celle d'attaquer le revêtement par le pied, qu'autant qu'on peut donner aux puits assez de profondeur pour qu'ils ne soient pas exposés à débourrer.

Cette profondeur se règle sur la charge déterminée pour les fourneaux et sur celles qui conviendroient aux terres du rempart. On cherche quelle épaisseur de ces terres peut faire équilibre avec la maçonnerie : cette épaisseur trouvée, on la multiplie, par 1,5, si les fourneaux doivent être pratiqués dans les contre-forts ou très-engagés dans le mur, ou par 2, si les fourneaux ne doivent rentrer dans le mur que de leur capacité. On est sûr par ce moyen que l'effet se portera tout entier vers le revêtement. Pl. XIV.

273. Il existe communément dans les anciennes places des galeries adossées aux revêtemens ou ménagées dans leur épaisseur : supposons donc d'abord qu'une face de bastion ait sa galerie adossée à l'escarpe, et qu'on veuille s'en servir pour renverser le revêtement. Nous allons rapporter à cette occasion les procédés suivis en pareil cas à la démolition des châteaux de Vérone. Le succès les ayant couronnés, il est indubitable que les mêmes circonstances et l'emploi des mêmes moyens amèneront partout les mêmes résultats.

274. 3.e *Exemple.* Le revêtement avoit 4,875 mètres (15^{pieds}) d'épaisseur à la hauteur du sol de la galerie. Huit fourneaux furent pratiqués comme on le voit à la figure, et écartés entre eux de 9,75 mètres (30^{pieds}) afin que leurs effets fussent tangens. Chacun d'eux fut chargé de 220,76 kilogrammes (451^{livres}) de poudre, ou, comme l'exigeoit la maçonnerie, à raison de 8,337 kilogrammes (15,75^{livres}) par double mètre (1^{toise}) cube. Celui *A*, situé dans la diagonale de l'angle, fut plus fortement chargé. On bourra toute la galerie d'escarpe, depuis 9,75 mètres (30^{pieds}) en avant du fourneau *A* jusqu'à 9,75 mètres (30^{pieds}) en arrière de celui *B*. Les dispositions ayant été faites pour que tous les four- *Fig.* 102.

Pl. XIV. neaux partissent ensemble, on mit le feu, et la face fut culbutée complétement.

275. Le travail ou le bourrage d'une grande galerie sur une étendue de 87,70 mètres (45^{toises}) étant d'une exécution très-lente, nous estimons que dans le cas où on seroit dans la position de regarder moins à la poudre qu'au temps, on pourroit singulièrement abréger la besogne en chargeant les fourneaux d'une moitié en sus de leur charge ordinaire, en les arc-boutant tout simplement contre le pied-droit opposé, et en ne bourrant la galerie, en-deça et au-delà des fourneaux, que d'une quantité égale à une fois et demie leur ligne de moindre résistance.

C'est en réfléchissant sur le résultat d'une des explosions des châteaux de Vérone, que nous croyons pouvoir proposer ce moyen comme bon à employer dans le cas qui nous occupe. La relation du fait, présentée au lecteur avec nos remarques, lui prouvera que quand il faut ne pas ménager la poudre on en est dédommagé par une moindre consommation de bourrage et de temps.

Fig. 102. 276. 4.e *Exemple.* La face gauche d'une espèce de bastion du fort S. Félix à Vérone venoit d'être renversée par la méthode expliquée au troisième exemple. Il restoit la face droite, dans la galerie de laquelle on avoit disposé huit fourneaux semblablement au même exemple, pour la faire sauter de la même manière: mais comme l'époque fixée pour la cessation des travaux approchoit et qu'on trouvoit l'œuvre du bourrage trop lente, on résolut de l'abréger, et voici ce qu'on fit. Sans rien changer à la charge des fourneaux, fixée précédemment à 220,76 kilogrammes (451^{livres}) de poudre chacun, on se décida à arc-bouter fortement les coffres des

poudres ; et à se contenter de deux masques de bourrage de 9,75 mètres (30^{pieds}) d'épaisseur, l'un en avant du fourneau *A*, et l'autre en arrière du fourneau *B* : de cette manière il se trouvoit entre ces deux masques un intervalle sans bourrage, de 68,20 mètres (35^{toises}). Les feux ayant été compassés pour que toutes les poudres s'embrasassent à la fois, on mit le feu, et tous les fourneaux en effet partirent ensemble. Que produisit cette explosion ? le rempart ne fut qu'ébranlé et légèrement crevassé : quelques lézardes se dessinèrent foiblement sur le revêtement ; en un mot, on brûla inutilement 1766 kilogrammes (3608^{livres}) de poudre. On se convainquit seulement qu'en considération de la suppression d'une grande partie du bourrage les charges auroient dû être augmentées : mais de combien ? c'est ce que nous oserons déterminer tout à l'heure.

La galerie d'escarpe se trouvant presque impraticable après l'inutile tentative dont nous venons de parler, on résolut d'y placer 2937 kilogrammes (6000^{livres}) de poudre en un seul tas, au milieu de l'intervalle compris entre les deux fourneaux *A* et *B*, et de rétablir les deux masques de bourrage, auxquels on ne donna cette fois que 7,30 mètres (22^{pieds} 6^{pouces}) d'épaisseur, c'est-à-dire une fois et demie celle du revêtement. Cela fait on mit le feu. Le renversement de la face ne suivit pas immédiatement l'inflammation des poudres ; on eut le temps de s'apercevoir d'une lutte entre l'effort du fluide et la résistance de la masse à renverser ; cette espèce d'oscillation dura trois à quatre secondes. Enfin le foible céda : le revêtement, sur une longueur de plus de soixante-huit mètres (35^{toises}), fut culbuté ; le rempart à dix à douze mètres (5 à 6^{toises}) en arrière du parapet fut

entraîné, bouleversé, et crevassé beaucoup plus loin. La rampe produite par cet éboulement étoit des plus douces, n'ayant tout au plus que trente degrés d'inclinaison. Une espèce de ravelin, voisin de la face culbutée, fut couvert de décombres broyés, et son fossé presque mis de niveau avec le site environnant. Tel fut l'effet de cette explosion; et voici la conséquence que nous en avons tirée.

En considérant que les huit fourneaux, chargés à raison de 8,337 kilogrammes (15,75^{livres}) de poudre par double mètre (1^{toise}) cube, n'ont rien produit faute d'être bourrés, et que le tas de 2937 kilogrammes (6000^{livres}) de poudre, renfermé entre deux masques de bourrage, a renversé la face qu'on avoit en vue, il nous paroît très-préaumable, pour ne pas dire certain, qu'environ 2640 kilogrammes (5400^{livres}) de poudre distribués dans les huit fourneaux l'auroient également détruite. Or cette dernière quantité de poudre étant à peu près celle que donneroit la charge des huit fourneaux, calculée à raison de 12,50 kilogrammes (23,625^{livres}) au lieu de 8,337 (15,75^{livres}); et ces deux fixations étant dans le rapport de deux à trois, ce rapport est précisément celui que nous avons dit (numéro 275) devoir être observé dans le cas particulier dont il étoit question.

277. Dans le cas très-rare où la galerie d'escarpe existe dans l'épaisseur même du mur, il convient de pratiquer des fourneaux dans ses deux pieds-droits, afin de déterminer plus sûrement la chute du revêtement.

278. Quand, relativement à la forte épaisseur des maçonneries, on n'a pas suffisamment de poudre pour renverser les revêtemens sur toute leur hauteur, et qu'il existe des galeries au niveau du fossé, il faut placer les fourneaux

assez au-dessus de ces galeries pour que leur effet n'aille pas se perdre tout entier dans leurs cavités ; et cependant, comme il est bon quelquefois de les détruire en même temps qu'on renverse une portion des revêtemens, il faut que les fourneaux ne soient au-dessus d'elles que d'un peu moins d'une fois leur ligne de moindre résistance. La résistance des voûtes, plus forte que celle des autres parties de la maçonnerie, tient ici lieu du surplus de cette ligne. Pl. XIV.

279. Il est des places dont les fossés sont creusés dans des matières dures, tenant de la pierre ou du roc. Toute la partie inférieure du revêtement des ouvrages, dans ce cas, n'est qu'un placage en brique, qui recouvre les substances naturelles et empêche l'air et la pluie d'agir dessus et de les détériorer. N'enlever que les véritables revêtemens de ces places, c'est-à-dire ceux qui s'élèvent au-dessus du sol naturel, ce ne seroit point ouvrir ces enceintes, encore moins les détruire, ni forcer à de grandes dépenses pour leur rétablissement. Il faut donc faire des brèches dans le roc même, et s'y prendre de la manière la plus avantageuse pour abîmer tout ce qui se trouve au-dessus. Nous ne disons pas qu'il faille en agir ainsi sur tout le pourtour des places assises sur le roc ; nous croyons qu'on peut y laisser ça et là des masses intactes, et qu'il suffit de bouleverser de fond en comble quelques parties essentielles. Nous allons rapporter ce qu'on fit à Tortone, place du genre de celles dont nous parlons, pour détruire une de ses courtines et ses vastes accessoires.

280. 5.e *Exemple.* Cette courtine étoit traversée par une galerie de deux mètres (6^{pieds}) de large, à plusieurs escaliers, qui de l'intérieur débouchoit dans une caponnière voûtée. *Fig.* 103.

Le débouché se trouvant au milieu de la courtine, on put se servir de la galerie pour la destruction proposée. En conséquence, à 7,80 mètres (24^{pieds}) à partir de l'escarpe, on entra en rameau à droite et à gauche d'un des paliers de la galerie, et à 9,75 mètres (30^{pieds}) du centre de ce palier on fit à chaque rameau d'entrée un retour, de 1,95 mètres (6^{pieds}), dirigé vers l'intérieur. Par cette disposition les fourneaux avoient 9,75 mètres (30^{pieds}) de ligne de moindre résistance, et leurs effets étoient tangens. Il faut prévenir que la courtine avoit 44,80 mètres (23^{toises}) de long, 19,50 mètres (10^{toises}) de haut; et qu'en y comprenant une porte, des casemates, un péristyle, elle occupoit une largeur de près de 23,40 mètres (12^{toises}). Les fourneaux étant situés dans un roc assez tendre et qui exigeoit 10,59 kilogrammes (20^{livres}) de poudre par double mètre (1^{toise}) cube, la charge de chacun d'eux auroit dû être de 2243 kilogrammes (4583^{livres}) de poudre; mais comme leur effet ne se seroit pas étendu jusqu'aux angles de flanc, et qu'on désiroit qu'il s'étendît encore plus loin pour compléter le renversement des flancs voisins, dont la partie supérieure seulement étoit détruite, on porta leur charge à 2692 kilogrammes (5500^{livres}). Voici l'effet qu'ils produisirent. La courtine depuis le fond du fossé, toutes les casemates, les bâtimens supérieurs, furent culbutés; il ne fut plus question du péristyle: d'un des angles de flanc à l'autre la courtine n'offrit plus qu'un immense amas de décombres. Des blocs énormes de rochers furent portés, comme par magie, sur le chemin couvert, et cependant pas une seule pierre ne fut lancée dans la ville, quoique la courtine dont il s'agit lui fît face.

281. Tous les remparts du principal fort de Tortone étant

casemates, ceux qui ne furent pas totalement culbutés par de gros fourneaux le furent de la manière suivante. On sapa tout ce que l'on put des murs de refend des casemates, pour préparer un effet facile à de petits fourneaux que l'on pratiqua dans le reste de ces murs, dans les joues des embrasures et dans les façades intérieures : de cette manière tout ce qui étoit véritable maçonnerie fut détruit entièrement. On réunit quelquefois cent et plus de ces petits fourneaux dans la même explosion. La destruction préalable des murs de refend facilita les compassemens de feux très-compliqués qu'on fut obligé de faire.

282. Après avoir détaillé les différentes manières de renverser les escarpes et les contrescarpes revêtues, qui dans leur chute entraînent plus ou moins des terres des remparts et des chemins couverts, suivant que ces terres sont plus ou moins coulantes, il resteroit à parler des moyens qu'on emploie pour bouleverser par les mines les escarpes et les contrescarpes non revêtues ; mais ces moyens étant fort simples et se déduisant naturellement de ceux que nous avons expliqués jusqu'ici, nous ne croyons pas devoir citer d'exemples de fortifications en terre détruites par la poudre. Seulement, pour ne rien omettre d'essentiel sur les démolitions en général, nous allons dire ce qu'on fit à Milan pour augmenter le volume des terres qui suivent le renversement des murs qui les soutiennent. On est quelquefois obligé d'agir de même, soit qu'on le croie utile pour mettre une place tout-à-fait hors de défense, soit que, voulant raser toutes les parties qui ont du commandement sur la campagne, on trouve plus d'économie ou plus de célérité à y procéder par des fourneaux qu'à la pelle et à la brouette.

Pl. XIV. Fig. 104.

283. 6.e *Exemple.* Le revêtement attaqué par le pied avoit 2,92 mètres (9^{pieds}) d'épaisseur, ses contre-forts 1,95 mètres (6^{pieds}), et ils étoient distans de 5,85 mètres (18^{pieds}) de centre en centre. Les fourneaux *F*, destinés à renverser le mur, furent placés sur le milieu de l'épaisseur des contre-forts, comme on le voit à la figure. A l'égard des fourneaux *T*, poussés dans les terres, on arriva à leurs emplacemens en prolongeant les rameaux d'entrée d'une quantité telle que ces fourneaux eussent une ligne de moindre résistance *Ta*, de 5,85 mètres (18^{pieds}).

Les fourneaux *F* furent chargés relativement à la qualité de la maçonnerie, et ceux *T* de 147 kilogrammes (300^{livres}) de poudre, c'est-à-dire d'un peu plus de la moitié de leur charge entière, calculée à raison de 6,34 kilogrammes (12^{livres}) par double mètre (1^{toise}) cube. On estima cette charge suffisante pour opérer l'éboulement qu'on vouloit produire. En effet le compassement des feux ayant été fait de manière que les fourneaux *F* partissent un moment avant les autres, ceux-ci, agissant sur des terres meurtries, déterminèrent l'éboulement d'une grande quantité de terre, dont le déblai à la pelle et à la brouette auroit coûté davantage que la poudre employée. En voilà assez sur ce sujet.

284. Il existe encore d'anciens châteaux forts, de vieilles places, où l'on trouve des tours rondes et carrées, tantôt isolées, tantôt adaptées à l'enceinte. Continuons à expliquer par des exemples comment on en opére le renversement.

Fig. 105.

286. 7.e *Exemple.* Une tour ronde, située isolément au milieu de la place du château d'Orthez, avoit 17,87 mètres (55^{pieds}) de hauteur; ses murs 2,27 mètres (7^{pieds}) d'épaisseur, et son diamètre intérieur 3,90 mètres (12^{pieds}); une

voûte élevée de 8,12 mètres (25^{pieds}) au-dessus du sol coupoit en deux sa capacité cylindrique. On plaça un coffre de cinquante kilogrammes (102^{livres}) de poudre au milieu du rez-de-chaussée, et on bourra, ou plutôt on remplit de terre, tout ce local. Un saucisson, partant du foyer des poudres et traversant un créneau qui existoit au plus bas du mur, servit à y porter le feu. Après l'explosion la cour du château fut couverte de décombres, sans que les bâtimens qui se trouvoient un peu au-delà de l'espace nécessaire pour les contenir, fussent sensiblement endommagés. Pl. XIV.

286. 8.e *Exemple.* Une tour carrée, de 24,36 mètres (75^{pieds}) de hauteur, de 4,875 mètres (15^{pieds}) de côté intérieur, et dont les murs avoient d'épaisseur 3,67 mètres (11^{pieds}), existoit isolément au fort S. Pierre de Vérone. Cette tour étoit partagée sur sa hauteur en quatre parties à peu près égales, par quatre voûtes, dont la dernière supportoit le toit. Quatre coffres, chacun de 195,80 kilogrammes (400^{livres}) de poudre, furent placés, comme on le voit à la figure, aux quatre angles du rez-de-chaussée, lequel fut soigneusement rempli de terre, de pierres et de bois. On mit le feu aux 783,20 kilogrammes (1600^{livres}) de poudre par le moyen d'un saucisson qui partoit du foyer commun du compassement des feux, et venoit aboutir à l'extérieur en traversant la porte, qu'on eut l'attention de masquer très-solidement. La tour fut sapée à sa base, croula par gros blocs, et aucun débris ne fut jeté hors du cercle étroit dans lequel s'amoncelèrent les décombres, et qui auroit à peine suffi pour les contenir si cette énorme masse eût croulé d'elle-même. *Fig.* 106.

287. La maçonnerie de cette tour étoit des meilleures :

nous n'avons jamais eu occasion d'en voir qui la surpassât en solidité. Sa partie inférieure, sur une hauteur de quatre à cinq mètres (12 à 15^{pieds}), étoit d'ailleurs bâtie en pierre de taille : aussi crut-on devoir charger à raison de 18,33 kilogrammes (35^{livres}) par double mètre (1^{toise}) cube, et considérer les coffres comme fourneaux isolés, quoique les effets se recroisassent de beaucoup. Nous ne pensons pas que la tour eût été renversée si on eût eu égard au recroisement des effets, et qu'on eût déterminé la charge des quatre coffres par les formules qui déterminent celles des fourneaux accolés; car n'y ayant point eu de jet de décombres et puisque la tour fut divisée par gros blocs de deux, trois et quatre mètres (6, 9 et 12^{pieds}) de côté, on doit conclure que la charge employée n'étoit pas trop forte. Ceci paroît prouver que dans l'évaluation des charges il faut non-seulement avoir égard à la qualité des maçonneries, mais encore à l'élévation des murs, lorsqu'ils ont une forte épaisseur et plus de dix à treize mètres (30 à 40^{pieds}) de haut. Quelques expériences du genre de l'explosion ci-dessus donneroient peut-être la loi suivant laquelle les assises supérieures des maçonneries d'une hauteur et d'une épaisseur notables, en pesant sur les assises inférieures (surtout quand elles sont de pierre de taille) et par conséquent sur celle par où passe la ligne de moindre résistance, augmentent la valeur de cette ligne.

288. Quand les tours adhèrent à l'enceinte, la bonne manière de les détruire est d'attaquer les maçonneries auxquelles elles sont liées, en même temps qu'elles-mêmes. Quand on néglige la première de ces deux choses, on court le risque de ne crever les tours que vers leur surface libre, tandis que le reste demeure sur pied. Nous ne dissimulerons pas que

faute de l'attention que nous recommandons, pareille chose nous est arrivée à nous-mêmes. La poudre produit de grands effets sans doute, des effets qui étonnent; mais quelquefois elle semble se refuser aux efforts qu'on attend d'elle et n'agir qu'avec foiblesse. Cet agent seroit-il capricieux, variable? non assurément; et quiconque le connoît conviendra que quand ses effets trompent notre attente, c'est que nous n'avons pas assez fait attention à certaines circonstances locales dont il eût fallu tenir compte. Nous venons d'indiquer l'écueil qu'il faut éviter; donnons maintenant les erremens qu'il faut suivre. Pl. XIV.

289. 9.e *Exemple.* Une tour ronde d'Orméa, enveloppée sur plus d'un tiers de son pourtour par du roc et un massif de terre revêtu de maçonnerie, avoit environ 9,75 mètres (30^{pieds}) de haut, 2,60 mètres (8^{pieds}) de diamètre intérieur, et 3,90 mètres (12^{pieds}) d'épaisseur en mur. Elle étoit située sur un escarpement de rochers: la voûte qui supportoit la plate-forme étoit chargée de 1,95 mètres (6^{pieds}) de terre, et avoit 0,48 mètres (18^{pouces}) à la clef, de façon que la plus grande hauteur intérieure de la tour se réduisoit à environ 7,30 mètres (22^{pieds} 6^{pouces}). *BADC* formoit une autre plate-forme de plein pied avec la première, et toutes deux avoient servi d'emplacemens à des batteries de canon. Une galerie d'escarpe régnant derrière le revêtement *CD* et dans un roc tendre, conduisoit dans la chambre de la tour. On plaça un coffre de 168,40 kilogrammes (344^{livres}) de poudre au milieu de cette chambre, c'est-à-dire qu'on chargea la tour à raison de 12,70 kilogrammes (24^{livres}) de poudre par double mètre (1^{toise}) cube. On plaça de plus dans le pied-droit *FX* de la galerie d'escarpe adossée au mur *CD*, quatre four- Fig. 107.

neaux *F*, distans les uns des autres de 7,80 mètres (24^{pieds}), et creusés en grande partie dans le roc. Leurs charges furent égales à celles de la tour, vu que le revêtement *CD*, en y comprenant la largeur de sa galerie, avoit 3,90 mètres (12^{pieds}) d'épaisseur. Le compassement des feux étant fait pour que les cinq charges s'enflammassent au même instant, on mit le feu. La tour fut entièrement détruite. Une de ses portions *BT*, formant à elle seule un tiers de son volume, glissa sur un rocher faisant talus, et alla se placer verticalement à plus de 24 mètres (12^{toises}) de son assiette primitive. Toute la partie *BADC*, terre et roc, fut bouleversée, et le revêtement *CD* divisé en blocs énormes, qui descendirent très-bas le long de l'escarpement vers le village : un peu plus de charge, et vingt maisons d'Orméa étoient écrasées. Heureusement que dans cette démolition difficile, où une partie de la tour et tout le revêtement *CD* pouvoient rouler jusque dans le village, qui n'en étoit qu'à une petite distance, il n'y eut que deux mulets qui, ayant continué de monter au fort malgré qu'on eût ordonné de les faire rebrousser, furent écrasés sous des blocs de maçonnerie de cinq à six doubles mètres (5 à 6^{toises}) cubes. Cet exemple prouve combien on doit être réservé sur les charges quand les ouvrages à détruire dominent et sont peu distans des habitations qu'il faut respecter. Au reste, les charges ici étoient bonnes, puisque, malgré la pente du rocher sur lequel étoit bâti le fort, les décombres ne roulèrent point jusqu'en bas. Observons néanmoins qu'elles étoient à leur *maximum*, et qu'en les forçant un peu plus on n'auroit pas obtenu de meilleurs effets, et qu'on auroit causé les plus grands torts au village d'Orméa.

290. Pendant la démolition du fort de Saorgio, village

situé à la jonction des Alpes et de l'Apennin, quatre à cinq maisons particulières furent ensevelies sous les décombres d'une tour voisine. Pouvoit-on éviter ce malheur et pourtant mettre cette tour hors de service? nul doute qu'on ne l'eût pu ; car cette tour étant carrée et n'ayant vue sur le village que d'une de ses faces, il étoit possible de renverser une ou deux des trois autres faces sans exposer aucun des édifices voisins à être écrasés sous les ruines. La tour par ce moyen n'eût pu servir davantage, et le but de la démolition eût été rempli à son égard. Citons l'exemple d'une tour presque semblablement située au fort S. Pierre de Vérone, mise hors de service sans nuire aux maisons qui l'avoisinoient. Pl. XIV.

291. 10.e *Exemple.* Il faut se représenter cette tour, haute d'environ vingt-quatre ou vingt-cinq mètres (75^{pieds}) du côté de la ville, bâtie sur le penchant d'une colline très-roide et dont la base dominoit de quinze à seize mètres (45 à 50^{pieds}) le toit des maisons les plus rapprochées, lesquelles en étoient tout au plus à quarante mètres (20^{toises}) de distance horizontale. Le sol se relevant brusquement vers le fort, la face *B* opposée à celle regardant la ville n'avoit qu'environ treize mètres (40^{pieds}) de hauteur. Dans la crainte très-fondée d'écraser plusieurs maisons, on résolut de mettre la tour hors de service sans en renverser toute la masse. On fit donc entrer en rameau par une petite porte qui se trouvoit sur la face *B* (au défaut de cette porte on eût fait un rameau d'entrée). Un fourneau fut placé sur la diagonale de l'angle *O*, et un second aux deux tiers de la même face *B*, qui avoit, ainsi que les autres faces, 7,80 mètres (24^{pieds}) de largeur mesurés extérieurement. L'épaisseur des murs *Fig.* 108.

étant de 2,44 mètres (7^{pieds} 6^{pouces}), on crut suffisant de mettre 24,47 kilogrammes (50^{livres}) de poudre dans chacun des deux fourneaux, et on compassa les feux pour qu'ils partissent ensemble. Qu'espéroit-on de cette disposition? on comptoit renverser entièrement la face *B*, une partie assez considérable de la face *A*, quelque chose de la face *C*, et laisser le reste sur pied. Les effets s'étendirent plus loin qu'on ne l'avoit auguré, au moins pour la face *C*. Une légère fente, effet du travail ou de la vétusté de la tour, qui se trouvoit presque à la liaison de la face *C* avec celle qui faisoit front à la ville, fut la limite à laquelle s'étendit le renversement de cette face *C*, qu'on ne vouloit qu'ébrécher médiocrement.

Il est bien présumable que si la tour n'eût pas été lézardée, les deux fourneaux n'auroient produit que la chute de la face *B*, et un peu plus ou un peu moins des deux autres faces *A* et *C*; ce qui toutefois auroit suffi pour rendre le reste tout-à-fait inutile : mais l'effet s'étant étendu plus loin sans qu'on s'y attendît, il a été heureux que ce fût sans contrarier notre projet de respecter les maisons voisines. Depuis l'époque de l'explosion que nous venons de rapporter, la tour, en la regardant de la ville, semble être encore entière; ce n'est qu'en la tournant de côté qu'on s'aperçoit qu'il n'en reste plus debout qu'une seule face.

L'intérieur de cette tour étoit entièrement vide; il n'étoit ni étagé ni couvert: s'il y eût eu quelques voûtes, il auroit fallu, avant le jeu des fourneaux, faire dans chacune une coupure parallèle à la face qu'on vouloit conserver; et si au lieu de voûtes c'eussent été de simples planchers formés de poutres et de madriers, il eût été également nécessaire de les enlever au préalable. Moins les faces de ces tours ont de

liaisons intérieures des unes aux autres, plus elles sont faciles à renverser partiellement. Pl. XIV.

292. La manière de rendre une tour inutile sans en renverser toutes les faces, tenant à un cas particulier qu'il n'est pas rare de rencontrer, nous n'avons pas cru devoir la passer sous silence. A l'égard des tours que l'on peut renverser totalement sans compromettre d'autres édifices voisins, leur situation par rapport aux autres maçonneries variant en cent façons, nous n'entreprendrons point de donner des détails sur toutes, persuadé que l'on suppléera facilement à ce que nous ne dirons pas, par ce que nous avons dit aux exemples 7, 8 et 9. Nous allons cependant ajouter à ces exemples la relation d'une explosion qui eut lieu au fort S. Félix de Vérone, pour détruire simultanément deux tours accolées et d'autres maçonneries adjacentes. Les effets extraordinaires de cette explosion nous engageroient seuls à lui donner place ici, quand bien même nous ne nous croirions pas obligés de parler des surcharges que l'on emploie quelquefois pour augmenter la violence des commotions, et détruire d'un seul coup des groupes d'objets qu'on n'a pas le loisir de renverser séparément.

293. 11.e *Exemple.* Une des deux tours dont il s'agit avoit au moins vingt-six mètres (80 pieds) de haut; elle étoit carrée : son côté intérieur avoit 4,87 mètres (15 pieds), et ses murs 3,90 mètres (12 pieds) d'épaisseur. Fig. 109.

A sa gauche, en la regardant du dehors, s'appuyoit une autre tour servant de porte d'entrée, un peu moins haute, mais ayant ses murs aussi épais que ceux de la première.

En avant de ces deux tours, à environ douze mètres (6 toises), régnoit une espèce de contrescarpe non revêtue, haute de

6,50 mètres (20^{pieds}), et dans le fossé qu'elle formoit, précisément vis-à-vis et à 1,95 mètres (6^{pieds}) de la grande tour, existoit un magasin à poudre carré *M*, dont le côté intérieur avoit 3,90 mètres (12^{pieds}) et les murs 1,95 mètres (6^{pieds}) d'épaisseur.

A gauche de la tour-porte et à droite de la grande tour s'appuyoient deux grands murs d'enceinte non terrassés, au dernier desquels étoit adossé un vaste bâtiment *B*, qui avoit servi de logement au commandant du fort.

La destruction, parties par parties, de ces diverses masses exigeant beaucoup plus de temps qu'on ne pouvoit en employer, on essaya d'en renverser le groupe par un seul fourneau.

La grande tour ayant une chambre dont le sol étoit de niveau avec celui du fossé et du magasin à poudre *M*, on résolut d'y placer la charge, divisée en quatre coffres égaux placés aux quatre angles, et de porter cette charge au quintuple de celle qu'il auroit fallu pour renverser seulement la grande tour. Ses murs, comme nous l'avons déjà dit, avoient 3,90 mètres (12^{pieds}) d'épaisseur, et la qualité de la maçonnerie exigeoit 18,33 kilogrammes (35^{livres}) de poudre par double mètre (1^{toise}) cube. Ainsi chaque coffre, sans avoir égard au recroisement des effets, demandoit 251 kilogrammes (513^{livres}) de poudre pour charge simple, et les quatre, 1004 kilogrammes (2052^{livres}). Le quintuple de cette quantité étant de 5020 kilogrammes (10260^{livres}), on la réduisit d'abord à 4895 kilogrammes (10000^{livres}), et enfin des circonstances particulières la firent réduire à 3979 kilogrammes (8128^{livres}), c'est-à-dire à un peu moins que le quadruple de la charge simple. Les quatre coffres ayant

été placés aux quatre coins de la chambre, cette chambre remplie de terre, de pierres et de bois; sa porte, et une embrasure qui s'y trouvoit, barricadées solidement, on mit le feu. Quel fut le résultat de l'explosion ? les deux tours furent pulvérisées, le magasin à poudre écrasé, comme s'il eût été chargé lui-même, le mur d'enceinte de gauche abattu sur une longueur de trente-neuf mètres (20^{toises}), celui de droite, long de vingt-cinq mètres (13^{toises}), rasé entièrement, ainsi que le bâtiment *B*; et, enfin, d'autres bâtimens *C*, à l'épreuve de la bombe et distans du centre de la grande tour de quatorze à vingt mètres (7 à 10^{toises}), furent détruits ou ébranlés de manière à ne pouvoir plus servir. Cette explosion, qui peut conduire à des réflexions et à des calculs utiles sur les fourneaux surchargés appliqués aux démolitions, ne fut accompagnée de rien de fâcheux. Une seule gerbe, échappée par la porte de la tour chargée, porta quelques décombres à cinquante mètres (25^{toises}) au plus du foyer de l'explosion.

294. La démolition d'une place ne consiste pas seulement à en renverser les fortifications, mais encore à en détruire les établissemens militaires intérieurs, tels que magasins à poudre, citernes, arsenaux, etc. : nous allons donc détailler comment on détruit ces établissemens.

295. Quand on a du temps, un magasin à poudre se détruit par une suite de fourneaux que l'on établit au milieu de l'épaisseur de ses pieds-droits et de ses pignons. On charge ensuite ces fourneaux relativement à leur ligne de moindre résistance et à la qualité de la maçonnerie; on les fait jouer ensemble, et la chute des murs verticaux entraîne nécessairement celle de la voûte.

Pl. XIV. Dans la crainte que les fourneaux ne coupent pas entièrement le pied des murs, il est bon de les accoler de quelque chose, afin que leurs effets reprennent un peu les uns sur les autres.

296. Quand on manque de temps, on emploie le procédé suivant, qui exclut tout travail préliminaire : on place de la poudre en tas sur le sol du magasin ; on barricade les portes et les croisées, et au moyen d'un saucisson qui de la poudre aboutit au dehors, on met le feu. Mais quelle quantité de poudre doit-on mettre ainsi en tas? Voici ce que nos observations et l'expérience nous ont appris là-dessus.

Connoissant la longueur et la largeur intérieures d'un magasin, ainsi que l'épaisseur de ses pieds-droits, on suppose un revêtement de même épaisseur et de même maçonnerie que les pieds-droits, et d'une longueur égale au développement intérieur des pieds-droits et des pignons. On cherche ensuite quel seroit le nombre de fourneaux isolés à établir derrière ce revêtement pour le renverser, et quelle seroit la quantité de poudre formant les charges réunies de tous les fourneaux. Cette quantité de poudre, augmentée de moitié, est précisément celle dont l'inflammation dans l'intérieur du magasin le détruira sans porter les jets de décombres à dix pas.

297. Cette méthode a été appliquée avec succès aux deux magasins suivans et à quelques-uns de leurs intermédiaires.

Fig. 109. Le premier magasin, très-petit, étoit pareil à celui *M*, dont il est parlé au numéro 293. Il n'avoit conséquemment que 3,90 mètres (12^{pieds}) de côté intérieur, et 1,95 mètres (6^{pieds}) d'épaisseur de mur. En lui comparant un revêtement de

15,60 mètres (48^{pieds}) de longueur et de 1,95 mètres (6^{pieds}) d'épaisseur on trouva que pour renverser ce revêtement il falloit quatre fourneaux de 1,95 mètres (6^{pieds}) de ligne de moindre résistance; et qu'en les chargeant, comme l'exigeoit la nature de la maçonnerie, à raison de 12,70 kilogrammes (24^{livres}) de poudre par double mètre (1^{toise}) cube, la charge de chacun étoit de 21,54 kilogrammes (44^{livres}) de poudre, et celle des quatre fourneaux de 86,16 kilogrammes (176^{livres}). Or cette dernière quantité augmentée de moitié égale 129,24 kilogrammes (264^{livres}) de poudre, que l'on mit en tas sur le sol du magasin; au moyen de quoi le bâtiment fut parfaitement détruit.

Le second magasin avoit 19,50 mètres (60^{pieds}) de long, 6,82 mètres (21^{pieds}) de large, mesurés intérieurement, et ses pieds-droits 1,95 mètres (6^{pieds}) d'épaisseur. La somme de ses côtés intérieurs étant de 52,65 mètres (162^{pieds}), et un revêtement de même longueur et de 1,95 mètres (6^{pieds}) d'épaisseur exigeant 13 $\frac{1}{2}$ fourneaux de 1,95 mètres (6^{pieds}) de ligne de moindre résistance, on réunit leurs charges, réglées sur le pied de 12,70 kilogrammes (24^{livres}) de poudre par double mètre (1^{toise}) cube; on y ajouta une moitié en sus, et on eut 436,15 kilogrammes (891^{livres}) de poudre pour détruire le magasin par le procédé en question.

298. L'expérience nous ayant prouvé que cette méthode de déterminer les tas de poudre n'étoit bonne que pour les magasins dont l'aire n'excédoit pas de beaucoup trente-cinq doubles mètres (35^{toises}) carrés, et qu'elle ne donnoit point d'assez fortes charges pour les magasins plus grands, nous avons été obligés d'en faire une autre pour ceux-ci. Voici cette méthode. Son application à des magasins de grandeurs

notables a produit leur destruction ; mais n'ayant pas eu occasion de l'appliquer à des magasins aussi vastes que ceux dont Vauban a donné les dimensions, ou tels, par exemple, que celui de la double-couronne de Belle-Croix à Metz, nous ne pouvons garantir qu'elle soit généralement bonne.

299. Prenant le magasin qui a trente-cinq doubles mètres (35^{toises}) carrés d'aire, pour le plus grand de ceux qu'on peut détruire avec une charge réglée par notre première méthode, et considérant que cette charge équivaut, à très-peu de chose près, à vingt fois celle d'un fourneau du revêtement qu'on a pris pour terme de comparaison, nous disons que tout autre magasin plus grand doit être chargé de vingt fois la charge de son fourneau de comparaison, plus autant de fois cette charge que l'aire du magasin a de fois deux doubles mètres (2^{toises}) carrés au-delà de trente-cinq. Ainsi, par exemple, la charge d'un magasin de cette dernière surface étant fixée à vingt fois 21,54 kilogrammes (44^{livres}) de poudre, quand la maçonnerie est de nature à en exiger 12,70 kilogrammes (24^{livres}) par double mètre (1^{toise}) cube, un autre magasin, qui ne différeroit de celui-là que par une aire de dix doubles mètres (10^{toises}) carrés de plus, seroit détruit avec vingt fois, plus cinq fois 21,54 kilogrammes (44^{livres}) de poudre; c'est-à-dire avec 538,50 kilogrammes (1100^{livres}).

Peut-être détruiroit-on encore, par une charge ainsi réglée, un très-vaste magasin qui auroit, par exemple, trente-deux mètres (16^{toises}) de long, dix mètres (5^{toises}) de large, ou quatre-vingts doubles mètres (80^{toises}) carrés d'aire, et dont les pieds-droits auroient 2,76 mètres (8^{pieds} 6^{pouces}) d'épaisseur. Le monceau de poudre dans ce cas, la maçonnerie en exigeant 12,70 kilogrammes (24^{livres}) par double mètre (1^{toise})

cube, s'éleveroit à 2600 kilogrammes (5312[livres]). Quoique cette quantité nous paroisse considérable, nous n'osons pas affirmer qu'elle suffise ; il faudroit, pour prononcer sur ce point, pouvoir s'appuyer sur l'expérience, et elle nous manque ici.

300. Il n'est pas nécessaire d'avoir égard à la hauteur des magasins à poudre dans la détermination de leur charge, parce que l'épaisseur des pieds-droits, qu'on prend pour terme de comparaison, augmentant avec leur hauteur, les charges augmentent aussi à proportion.

301. Lorsqu'un magasin est beaucoup plus long que large, il est bon de diviser la poudre qu'on place sur son sol, en deux ou trois tas égaux; et quand il s'agit d'un magasin qui a des couloirs latéraux, comme on en rencontre quelquefois, on fait aussi très-bien de distribuer une portion de la charge dans ces couloirs. On doit, au reste, faire en sorte que le feu prenne à tous les tas au même instant.

302. Ce que nous venons de dire des magasins à poudre s'applique à tous les bâtimens voûtés à l'épreuve de la bombe. Une citerne ainsi voûtée peut donc être détruite, ou par des fourneaux, ou par de la poudre en tas, quoique au moment où on veut la détruire elle soit remplie d'eau. Voici comment on s'y prend dans ce dernier cas. On établit sur l'eau, au milieu de l'aire de la citerne, un radeau fixe qui soit capable de supporter, sans être submergé, un coffre contenant la poudre nécessaire pour opérer la destruction proposée ; et au moyen d'augets venant du coffre et assujettis de façon qu'ils ne soient pas dérangés par la combustion des saucissons qu'ils recèlent, on porte le feu aux poudres. Une belle et vaste citerne fut détruite de cette manière à Ehrenbreitstein.

Pl. XIV. 303. Les citernes étant ordinairement enfoncées dans le sol sur une partie de leur hauteur, il peut arriver qu'en s'y prenant comme nous venons de l'indiquer il n'y ait que la voûte qui soit détruite. Pour rendre la destruction plus entière, on pratique, quand on en a le temps, des fourneaux dans le pieds-droit le plus aisément abordable par le dehors, et le renversement de ce pied-droit produit la chute de la voûte et l'écoulement de l'eau.

304. Un autre moyen plus efficace encore, mais qui exige un assez long travail quand d'ailleurs il est praticable, consiste à porter un fourneau sous le milieu de la citerne, à l'aide d'un puits et d'un rameau. Ce fourneau, si on le charge à outrance ou de manière à lui faire produire un entonnoir qui embrasse toute l'aire de la citerne, ne peut manquer d'ébranler ses fondemens, de faire écrouler sa voûte et de la bouleverser de fond en comble.

305. Abstraction faite du temps dont on peut disposer, la première méthode, ou celle de la poudre en tas, est bonne à employer quand les citernes sont enchâssées dans le roc, et les deux dernières quand les murs verticaux s'appuient à la terre.

306. Les puits à eau sont creusés dans la terre ou dans le roc. Ceux creusés dans la terre se détruisent de deux manières, l'une lente et l'autre prompte. Soit, pour exemple
Fig. 110. de la première manière, le puits *P*, d'une profondeur quelconque, de 1,95 mètres (6^{pieds}) de diamètre intérieur, et de 0,65 mètres (2^{pieds}) d'épaisseur de maçonnerie. Pour le détruire, on perce le revêtement, un peu au-dessus du niveau de l'eau, aux quatre extrémités des deux diamètres perpendiculaires *a b* et *c d*, et on établit les quatre fourneaux *A*, *B*, *C* et *D*; on charge ensuite ces fourneaux de cinq

à six kilogrammes (10 à 12[livres]) de poudre chacun, et on les fait partir ensemble par un compassement de feux qui leur soit propre. Si ce puits, ayant une grande profondeur, n'étoit que dégradé par cette explosion, on en exécuteroit une seconde à quatre mètres (12[pieds]) au-dessus de la première, et ainsi de suite, jusqu'à ce que le puits fût suffisamment bouleversé.

307. La seconde manière consiste à guinder un étrésillon en travers du puits, à 1,32 mètres (4[pieds]) au-dessus de l'eau, à y suspendre un coffre ou un baril de 100 kilogrammes (200[livres]) de poudre, et à y porter le feu de la manière la plus sûre et la plus commode.

308. Comme il seroit excessivement long de détruire complétement, par de la poudre, les puits creusés dans le roc, et que quelques fourneaux, en détachant des quartiers de roches de leurs parois, ne feroient qu'en accroître la capacité, le seul moyen prompt de les mettre hors d'usage, au moins passagèrement, est de les combler avec les plus gros décombres que les circonstances placent sous la main.

309. Les arsenaux, les hôpitaux, les casernes, en un mot tous les édifices de ce genre, se détruisent, quand on veut épargner la poudre et qu'on a du temps, de la manière suivante. On enlève la charpente, les portes et les fenêtres du bâtiment; après quoi on sape les murs par le pied, en observant de laisser, particulièrement aux angles, des piliers aussi larges qu'épais, dont le nombre, ou la distance des uns aux autres, se règle sur la bonté de la maçonnerie. Avant de dégager entièrement ces piliers, on pratique, dans leur épaisseur, de petits fourneaux, dont le jeu produit ensuite la chute des murs.

Pl. XIV. 310. Quand on n'a pas le temps de faire toutes les sapes dont on vient de parler et que d'ailleurs on a de la poudre abondamment, on en place une certaine quantité dans la cave la plus basse et la plus centrale de l'édifice, ou dans plusieurs caves favorablement situées pour cela, et on y met le feu. Si, faute de cave ou de savoir proportionner la quantité de poudre à l'effet qu'on veut produire, on ne peut tenter une explosion de cette nature, on place de la poudre en tas dans quelques pièces du rez-de-chaussée, en commençant à un bout, et on juge par les premiers effets s'il faut ou non changer la force des tas de poudre. Quand on emploie ce dernier moyen, il est nécessaire de laisser subsister le plancher du premier étage et de fermer les portes et les fenêtres du rez-de-chaussée.

311. Si après ces diverses explosions il restoit debout quelques pans de mur qu'on voulût abattre, le résultat de l'expérience que nous allons rapporter indique quel moyen
Fig. 111. on emploieroit pour cela. Un baril *B*, de quarante-neuf kilogrammes (100^{livres}) de poudre, appuyé d'une part à un mur de 0,54 mètres (20^{pouces}) d'épaisseur, et portant de l'autre sur une voûte de 2,44 mètres (7^{pieds} 6^{pouces}) de rayon et de 0,25 mètres (9^{pouces}) d'épaisseur à la clef, détruisit, par son embrasement en plein air, la voûte et le mur sur une longueur de plus de six mètres (18^{pieds}). Sans savoir précisément quel est le plus foible mur qui résisteroit à l'effort de quarante-neuf kilogrammes (100^{livres}) de poudre brûlant à l'air libre, nous ne doutons pas qu'avec l'attention de tenir le baril qui les contiendroit, élevé de deux mètres (6^{pieds}) au-dessus du sol, on ne renversât des murs de 0,75 à 0,80 mètres (28 à 30^{pouces}) d'épaisseur. On dit, au reste, qu'un

semblable baril de poudre, fixé par un tire-fond, sans toucher l'eau, au plus bas de la poupe d'un vaisseau de ligne, suffit par son embrasement pour ouvrir ce vaisseau et le couler bas. Quoi qu'il en soit, il résulte toujours de l'expérience ci-dessus, qu'une certaine quantité de poudre appuyée contre un objet à détruire ou portant dessus, le renverse ou l'enfonce. Appliquons cette propriété à la destruction des ponts et à la rupture des portes des villes.

312. Quand il s'agit à la guerre de faire sauter un pont et qu'on n'a pas le temps de pratiquer des fourneaux dans ses piles et ses culées de la manière que le représente la figure 112, on creuse à la hâte une tranchée, suivant la direction de la clef de la voûte, sur autant d'arches qu'on en veut détruire, et on répand sur chaque cent cinquante à deux cents kilogrammes (300 à 400^{livres}) de poudre, dont l'inflammation, quoique en plein air, écrase chaque arche ainsi chargée. Cette quantité de poudre a rompu des voûtes à plein ceintre qui avoient moins de 8,12 mètres (25^{pieds}) de portée, et dont l'épaisseur à la clef étoit de 1,32 mètres (4^{pieds}), réduite, par la profondeur de la tranchée, à 0,83 mètres (2^{pieds} 6^{pouces}). Ce sont les dimensions les plus ordinaires des ponts établis sur les rivières dans la campagne.

Les voûtes surbaissées de portée égale, et celles à plein ceintre de plus grande portée, exigent moins de poudre; celles de plus petite portée en exigent davantage. Il est entendu au reste qu'on suppose que leur épaisseur ne varie point.

Si au lieu de placer la poudre sur l'extrados des voûtes on pouvoit la suspendre sous leur intrados, il est présumable que, même sans affoiblir les voûtes par une tranchée, il faudroit moins de poudre pour les détruire.

Cette manière de rompre les ponts, n'en détruisant pas les piles, ne doit être employée que faute de temps; car l'ennemi tarde peu à rétablir le passage par des pièces de bois jetées d'une pile à l'autre.

Si par mesure de précaution on fait à l'avance les fourneaux indiqués à la figure 112, il faut les placer un peu au-dessus de la plus grande hauteur présumée à laquelle s'élèvent les eaux, et quand on les charge ne point épargner la poudre.

313. Quand on peut furtivement aborder la porte d'une petite place de guerre dont on veut se rendre maître, on l'enfonce en y suspendant, ou une espèce de mortier de fonte appelé *pétard*, ou une bombe chargée qui produit le même effet. Mais ces deux agens ayant l'inconvénient d'éclater et de porter leurs éclats assez loin pour inquiéter le détachement chargé de se précipiter dans la ville au moment où la porte est enfoncée, nous pensons qu'on pourroit leur substituer avantageusement un petit baril, ou un sac de cuir, contenant vingt-cinq à trente kilogrammes (50 à 60^{livres}) de poudre; nous jugeons ce moyen suffisant pour enfoncer une porte ordinaire de ville, quand nos braves voudront bien ne pas la briser à coups de hache. On suspendroit le baril, ou le sac, comme le pétard ou la bombe, c'est-à-dire, au moyen d'un tire-fond vissé dans la porte; et on y mettroit le feu avec un moine convenablement adapté à ce nouveau pétard. L'homme chargé de cette commission délicate auroit à la main un bout de mèche allumé, dont il lui seroit facile de dérober la vue aux surveillans.

314. Les habitations et autres édifices qu'on est obligé de raser autour des places menacées de siége, se détruisent, en détail par des sapemens, des fourneaux, des pétards, et

par le belier ; et en masse, par de la poudre en tas. Nous ne dirons rien sur les sapemens, les fourneaux et les pétards ; ce que nous avons dit au sujet des arsenaux, des hôpitaux et des casernes, s'appliquant aux édifices dont il est ici question : nous parlerons seulement du belier, dont le choc renverse assez promptement les murs d'une foible épaisseur, et de l'emploi des tas de poudre pour détruire les grands bâtimens à voûtes légères, ou sans voûtes, tels que les églises. Le belier ne demande pas grande façon. On le compose de trois fortes perches et d'une grosse poutre de bois dur ; on forme une espèce de chèvre avec les trois perches, et on y suspend la poutre par un cable, de manière qu'elle descende à un mètre (3^{pieds}) de terre. Plusieurs hommes font agir le belier, et un d'eux en dirige la tête à l'endroit du mur qu'il faut battre. On commence l'opération à un angle, que l'on a dû ébrécher par quelques pétards, et en gagnant progressivement l'autre angle il se détache successivement des pans de mur, qui roulent quelquefois assez loin et dont il faut se garder.

315. Une église située à peu de distance des glacis de Capoue, fut détruite avec cent quarante-sept kilogrammes (300^{livres}) de mauvaise poudre en tas. Elle étoit voûtée et comparable en grandeur à nos moyennes églises de village ; ses murs seulement étoient moins épais, à raison de l'extrême légèreté de la voûte, qui étoit construite avec des substances volcaniques. Nous estimons que si cette église, voûtée ou non, eût eu ses murs d'à peu près un mètre (3^{pieds}) d'épaisseur, il auroit fallu deux cent cinquante kilogrammes (500^{livres}) de poudre pour la détruire.

316. Si une place dont on a ordonné la démolition a

des galeries en maçonnerie ou en bois qu'on ne veuille pas laisser subsister, voici comment on les détruit. Quand on a du temps devant soi on établit de petits fourneaux ou des pétards dans les pieds-droits; comme on le voit aux figures 113 et 114. Préfère-t-on les fourneaux? on les éloigne de quatre mètres (12 pieds) les uns des autres; on les charge de cinq à six kilogrammes (10 à 12 livres) de poudre chacun; on les bourre et on les arc-boute sans étendre le bourrage dans la galerie, et on fait jouer quatre de ces fourneaux à la fois, en compassant les feux comme l'indique la figure 113. La première explosion se fait, dans chaque galerie, à celui de ses bouts qui offre le moins de facilité à la retraite, et les autres en rétrogradant.

Préfère-t-on les pétards? on les espace d'un mètre (3 pieds); on les charge au tiers de leur profondeur, et on en réunit quatre dans chaque explosion, c'est-à-dire deux de chaque pied-droit. Leur compassement de feux se fait au moyen de terre glaise, dont on forme deux petits augets le long des pieds-droits, à hauteur des pétards, et d'une planche étroite, guindée en travers de la galerie de manière que ses extrémités répondent au milieu des deux augets de terre glaise. Les augets et la planche reçoivent une traînée de poudre qui communique aux quatre pétards, et on y met le feu au moyen d'un moine placé au milieu de la planche.

317. Si tout ou partie du système est en bois, voici un moyen de détruire très-promptement les galeries. On scie les chapeaux par-dessous jusqu'à ce que le poids des terres étant près de les rompre, on soit certain qu'ils seront bientôt rompus. Avant de commencer ce sciage, il est prudent d'enlever les tringles qui lient les montans les uns aux autres,

de crainte que la rupture d'un châssis ne renverse quelques-uns de ses voisins, et n'expose le scieur à être écrasé.

318. Quand on est commandé par le temps, on peut détruire les mines défensives par des globes de compression, en se servant de quelques-uns des fourneaux du système, ou en en préparant *ad hoc* dans la situation la plus favorable pour obtenir l'effet qu'on veut produire. On fit ainsi jouer au fort de la Brunette, à Suze, deux paires de fourneaux accolés, lesquelles furent chargées chacune d'environ 19580 kilogrammes (40000^{livres}) de poudre. Les fourneaux avoient des lignes de moindre résistance depuis treize (42^{pieds}) jusqu'à 16 mètres (50^{pieds}). Les notes qu'on nous a procurées sur ces explosions portent bien qu'elles remplirent leur but, mais ne disent pas jusqu'où s'étendit leur effet intérieur. Ces fourneaux d'ailleurs jouèrent dans un remblai de grosses roches et de rocailles, ce qui les empêcha de produire des entonnoirs aussi vastes qu'ils auroient dû.

319. Nous allons terminer l'article des démolitions, ainsi que ce traité, par des détails sur le moyen de renverser les gros murs terrassés, en les sapant. Ce moyen fut employé, faute de poudre, à culbuter quelques parties des fortifications de Coni. Voici en quoi il consiste. On sape les murs par le pied, en observant de ménager, à des distances aussi grandes que le permet la bonté de la maçonnerie, des piliers qui les soutiennent pendant ce travail. Cela fait, on étançonne les parties sapées assez solidement pour que le sapement des piliers puisse à son tour être fait sans danger. On sape donc ces piliers; on enduit les étançons de quelque matière résineuse qui en favorise la combustion; on remplit leurs intervalles de bois sec mêlé de

copeaux, et on met le feu partout à la fois avec des mèches soufrées. Les étançons se consument bientôt, et les murs, ne tenant plus que par leur adhérence aux contre-forts, s'écroulent.

L'effet du feu sur les étançons étant d'autant plus prompt et plus sûr qu'ils sont d'un plus foible équarrissage, il vaut mieux en employer de foibles que de plus gros, sauf à en mettre un plus grand nombre.

Pour que le renversement des murs s'opère bien, il faut que la sape aille en haut en baissant, et en bas en s'élevant. De cette manière les murs en s'affaissant viennent appuyer leur base oblique sur un plan incliné en sens contraire, et cette opposition détermine leur chute en avant. Nous avons la preuve qu'il n'en arriveroit pas ainsi si la base et le plan étoient parallèles à l'horizon.

Il n'y a que le manque de poudre qui puisse faire entreprendre un travail aussi lent, et qui n'est pas sans danger, pour la destruction des gros murs terrassés. Quand le défaut de poudre n'est pas absolu, on peut diminuer la lenteur et le péril du travail en coupant les piliers par des fourneaux (n.° 309), comme on l'a fait à Arona.

FIN.

NOTES.

NOTE 1.re, *page* 2.

Tout ce qui a rapport aux mines est généralisé sous la dénomination de fortification souterraine.

NOTE 2.e, *page* 2.

Ayant employé à la fois, dans le cours de cet ouvrage, les dénominations de poids et mesures tirées de l'ancien et du nouveau système de nomenclature, il est nécessaire d'observer que les expressions nouvelles n'ont pas toujours la valeur exacte des anciennes; mais que souvent elles ne sont que des approximations dont la mémoire puisse aisément se charger, et telles que, se trouvant établies quand on en sera venu à ne faire usage que du nouveau système, elles n'éprouvent plus ni incertitude, ni versatilité, ni arbitraire. Ainsi, en parlant des dimensions d'une grande galerie, nous disons qu'elle a 1,9 mètres (6 pieds) de haut sur un mètre (3 pieds) de large : si à 1949 et 975 millimètres, qui seroient la valeur exacte de 6 et 3 pieds, nous substituons les quantités de 1,9 et 1 mètres; c'est qu'elles sont moins fractionnaires et plus faciles à retenir, et qu'en même temps nous ne trouvons aucun inconvénient à retrancher 49 millimètres (moins de 2 pouces) de la hauteur d'une grande galerie, ni à ajouter 25 millimètres (moins d'un pouce) à sa largeur.

NOTE 3.e, *page* 3.

Le général Marescot, dans un Mémoire sur la fortification souterraine, inséré dans un des cahiers du Journal de l'École polytechnique, en l'an 10, appelle *ligne d'explosion* la ligne qui jusqu'alors avoit porté le nom de *ligne de moindre résistance* : M. Gay-Vernon nomme cette ligne *axe d'explosion*. Quoique nous ayons conservé l'ancienne dénomination, nous ne rejetons pas pour cela les autres : la convention fait tout.

Note 4.e, page 61.

Des expériences faites à Mayence par les ordres et sous les yeux d'un officier général de l'arme, dirigées par un très-habile officier de mineurs, et consignées dans le premier numéro du Mémorial de l'officier du génie, semblèrent prouver que les vides, ménagés à dessein autour de la charge des fourneaux, augmentoient la capacité de leurs entonnoirs. Les mêmes expériences viennent d'être répétées à Metz avec tout le soin imaginable, sous la direction du même officier de mineurs, et dans le terrain le plus avantageux pour en bien apprécier les résultats : elles n'ont pas répondu à l'espoir qu'avoient fait concevoir celles de Mayence. A la vérité, rigoureusement parlant, les fourneaux dans lesquels on a ménagé des vides ont produit des entonnoirs d'un diamètre un peu plus grand que ceux des fourneaux tenus pleins ; mais le plus grand diamètre des entonnoirs produits par les premiers n'ayant surpassé que de 0,35 mètres (1 pied) celui des entonnoirs des fourneaux de comparaison, on ne peut guères, dans la pratique, regarder cette différence comme une augmentation d'effet. Au reste, ce qui doit diminuer les regrets, et même consoler tout-à-fait de ce que les secondes expériences n'ont pas confirmé les premières, c'est que si l'agrandissement assez considérable des entonnoirs, au moyen des vides, eût été constaté, il y auroit une infinité de circonstances où le manque de temps, par la mauvaise qualité des terrains, ne permettroit pas de tirer parti de cette découverte.

Note 5.e, page 71.

C'est le premier usage des mines modernes, car les anciens avoient aussi les leurs. On voudra bien croire que quand même nous ne serions pas pressés par le temps, nous aurions cependant le bon esprit de résister à l'envie d'étaler quelque savoir sur la manière dont les anciens conduisoient leurs travaux de mines, et sur les avantages qu'ils en retiroient dans l'attaque et la défense des places. Les mines dont les effets s'opèrent par la poudre étant les seules qui nous intéressent, nous ne parlerons point des autres ; et comme beaucoup de choses concernant les mines modernes sont aussi à condamner à l'oubli, nous les reléguons avec ce qui a rapport aux anciennes, et nous n'en parlerons pas non plus.

Note 6.e, page 72.

Les fourneaux, surchargés ou non, produisent semblablement des effets relatifs à leurs charges : ce n'est donc pas pour désigner des fourneaux d'une espèce différente des fourneaux ordinaires ou chargés à charges simples, qu'on a donné le nom de globes de compression aux fourneaux surchargés. Cette expression a été choisie par Bélidor pour donner une idée de la chose même ; elle peint un fourneau qui ne manifeste point d'effet à l'extérieur, et qui se borne à comprimer les terres autour de son foyer. Or les fourneaux surchargés, bien qu'ils produisent des entonnoirs, ayant pour but de porter cette compression, ou leur effet intérieur, plus loin que les fourneaux ordinaires, Bélidor leur a imposé sans doute par excellence le nom de globes de compression, quoique cette dénomination convînt tout aussi bien aux fourneaux ordinaires et mieux encore aux camouflets (voyez la note 18). Il est très-présumable que, faute d'exactitude, et peut-être de sens (car il s'en faut qu'on soit d'accord sur la manière dont Bélidor prétend que les fourneaux agissent dans l'intérieur des terres pour détruire des objets voisins d'eux), il est très-présumable, disons nous, que cette dénomination tombera en désuétude, celle de fourneaux surchargés donnant une idée plus juste de ce qu'on pense ou de ce qu'on veut faire. Cependant, comme l'usage ne l'a point encore universellement proscrite, nous continuons à l'employer dans cet ouvrage, en nous contentant de dire ici ce que nous en pensons.

Note 7.e, page 77.

Les ingénieurs ayant généralement adopté les revêtemens en décharge, on peut ajouter au nombre de leurs avantages celui de diminuer singulièrement les frais de construction de la galerie de contrescarpe, en fixant définitivement sa position sous leurs arceaux.

Note 8.e, page 81.

La galerie d'escarpe, dont la position à douze mètres (6 toises) au moins du parement intérieur du revêtement est commandée par ses deux buts d'utilité, ne nous paroît pas pouvoir partager avec celle de contrescarpe l'avantage que procurent les revêtemens en décharge.

Note 9.e, pag. 95.

Cette distinction des effets des fourneaux est absolument nécessaire : nous eussions pu la rendre plus savante, peut-être plus exacte; mais non plus simple ni plus claire.

Note 10.e, page 98.

Valière étoit d'un avis tout opposé. Les plus gros fourneaux de ses dispositions à plusieurs étages étoient ceux qu'il plaçoit le plus loin vers la campagne. C'étoit assurément compter beaucoup sur la complaisance de l'assiégeant, ou sur son ignorance, que de croire qu'après avoir sauté une première fois au-dessus des plus petits fourneaux, il se reculeroit sur les moyens et de là sur les gros, pour se faire sauter une seconde et une troisième fois. Personne, que nous sachions, n'a fait exécuter en France des dispositions de fourneaux suivant cette méthode : nous avons toujours vu les bons mineurs, tout en rendant justice au mérite de Valière, rire du tour de ses idées au sujet de cet arrangement de fourneaux.

Note 11.e, page 116.

Quelques ingénieurs ont pensé que la poudre dans les fourneaux, lors du développement de sa force expansive, éprouvoit trois sortes de résistance :

1.° Celle du poids des terres à enlever, qui est proportionnelle au volume, et conséquemment au cube des lignes homologues des entonnoirs ;

2.° Celle de la ténacité des terres, qu'on a regardée, faute d'attention ou d'expérience, comme proportionnelle à la surface convexe des entonnoirs, et par conséquent au carré de leurs lignes homologues ;

3.° Enfin, celle de la colonne d'air qui repose sur la surface extérieure du terrain à enlever, résistance égale au poids d'un cylindre d'eau commune, de 10,395 mètres (32 pieds) de hauteur, et dont le rayon de la base égaleroit celui du grand cercle des entonnoirs.

La première de ces trois résistances est réelle : elle n'exige aucune preuve; elle ne peut être mise en doute.

Quant à la seconde, nous croyons qu'elle suit absolument la même loi que la première, c'est-à-dire qu'elle est proportionnelle, non au

carré, mais au cube des lignes homologues des entonnoirs. En effet, si les terres de l'excavation d'un fourneau étoient chassées en une seule et même masse, il est évident que la résistance due à la ténacité des terres ne s'exerçant alors qu'à la totalité des points de la surface convexe du cône tronqué ou du paraboloïde enlevé, cette résistance seroit proportionnelle à cette surface : mais l'expérience, mère et base fondamentale de toutes les sciences, démontre que les solides enlevés par l'effet des mines ne partent jamais en masse, pas même dans la maçonnerie ni le roc. On voit au contraire, au moment où un fourneau est prêt de faire son explosion, que les terres se bombent extérieurement vers le centre du grand cercle de l'entonnoir, et que leur rupture se fait d'abord dans une petite partie de ce bombement, après quoi elles s'élèvent en l'air, bien divisées. Presque au même instant la flamme et la fumée se mêlent aux débris de l'entonnoir, et par leur vîtesse dévancent même les premiers jets. D'après cela on doit conclure que le fluide élastique de la poudre pénètre, au moins en partie, le massif des terres qu'il enlève, et qu'il le sépare encore par l'effet de l'extrême compression qu'il lui fait subir. La force qui surmonte la ténacité ne peut donc être considérée comme agissant seulement à la surface convexe du solide enlevé, mais bien comme agissant dans toutes les parties intérieures de ce solide : or les entonnoirs sont comme les cubes de leurs lignes homologues ; les ténacités sont donc entre elles comme ces mêmes cubes.

La troisième résistance nous paroît devoir être considérée comme nulle. En effet, la rupture des terres, comme nous venons de l'observer, ne s'opérant pas dans un seul et même instant, le fluide élastique de la poudre, à la première crevasse qui lui permet de choquer l'air atmosphérique, réagit également et en tout sens en vertu de la pression de la colonne d'air qui dès-lors pèse sur lui ; de sorte que chaque point de la base inférieure de l'entonnoir est poussé de bas en haut par l'action seule de cette colonne sur le fluide de la poudre, avec une force qui équilibre chacune des autres colonnes d'air correspondantes à ces points. Il résulte donc de l'établissement de cet équilibre avant le départ des terres hors de l'entonnoir, que la résistance provenant de la pression de la colonne d'air extérieur se réduit, rigoureusement parlant, à celle des seuls filets d'air qui répondent aux premières et

foibles crevasses qui s'opèrent avant que l'équilibre dont nous parlons soit établi. Cette résistance, qui est réelle mais infiniment petite, peut donc être considérée comme nulle.

Les seules résistances à vaincre par la poudre étant le poids et la ténacité des milieux où elle agit, et chacune de ces résistances étant proportionnelle aux volumes des entonnoirs, ou aux cubes de leurs lignes homologues, la conséquence toute simple c'est que, dans les terrains de même espèce, les charges sont aussi proportionnelles à ces mêmes volumes ou à ces mêmes cubes. A l'égard de la densité et de l'élasticité des milieux, nous pensons d'autant moins qu'il soit nécessaire d'y avoir égard, qu'indépendamment de la difficulté d'apprécier les modifications qu'elles apporteroient dans les charges, elles se supposent, ainsi que la ténacité et le poids, quand on comprend, comme le font les mineurs, toutes ces qualités sous la dénomination générale de *natures* ou *espèces de terrains :* or, l'expérience ayant appris à fixer les élémens des charges pour chaque espèce de terrain, le tableau du n.° 184 et cette proposition, *les charges sont entre elles comme les volumes des entonnoirs ou comme les cubes de leurs lignes homologues*, suffisent pour résoudre tous les problèmes relatifs à la production d'effets par des fourneaux ordinaires; mais non par des fourneaux surchargés, ainsi qu'on le voit à la section XI de la II.e partie et à la note 14.

Notre ouvrage étant destiné à faire de bons mineurs praticiens de nos sous-officiers, aussi bien qu'à donner des idées fixes de la fortification souterraine aux élèves qui entrent dans le corps avec beaucoup d'instruction, c'est pour nous une nécessité de simplifier tout ce qui est susceptible de l'être; et, certes, l'objet dont nous venons de parler est celui de tous que, dans nos vues, il étoit le plus important de présenter sous son aspect le plus simple. La même considération, c'est-à-dire celle de faciliter aux sous-officiers du corps l'intelligence du plus grand nombre possible de nos propositions, nous a souvent déterminés à préférer l'emploi des calculs arithmétiques à ceux de l'algèbre.

NOTE 12.e, *page* 124.

Autre méthode pour trouver le solide commun de deux entonnoirs de mines.

Problème.

Déterminer le solide commun de deux entonnoirs de mines qui se croisent d'une partie quelconque du rayon de leur base.

Solution.

Nous allons supposer dans cette recherche que le solide d'excavation d'une mine est un cône tronqué par le milieu, et que la hauteur du tronc égale le rayon du plus grand cercle.

Fig. 1.re

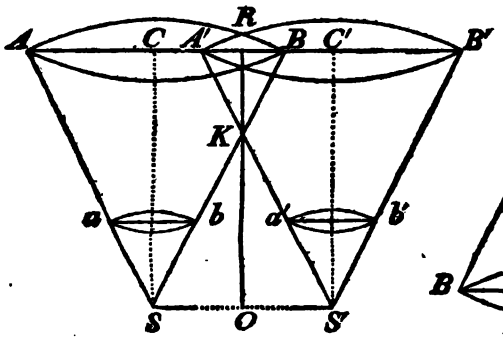
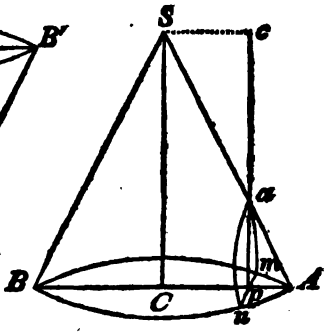


Fig. 2.e



Soient donc ABS, $A'B'S'$ (fig. 1.re), deux cônes dont les hauteurs sont égales aux diamètres AB, $A'B'$. Les parties $AabB$, $A'a'b'B'$ représentent les solides d'excavation de deux mines, et leurs bases se *recroisent* d'une quantité $A'B$ égale à n; en sorte qu'en faisant CA ou $CB = r$, on a $A'B = nr$.

Le solide commun des deux entonnoirs est représenté par $A'BK$. Pour le déterminer, nous menons par son sommet K un plan KRO perpendiculaire à la base; ce plan coupe le solide $A'BK$ en deux autres solides égaux, qui sont chacun un onglet conique, représenté par l'onglet $Amna$ (fig. 2), terminé par une hyperbole amn, par la partie mAn du cercle de la base, et par une portion de la surface convexe du cône. Trouvons la solidité de cet onglet: son double sera celle du solide commun cherché $A'BK$ (fig. 1.re).

Pour avoir la solidité de l'onglet, nous le supposerons composé d'élémens infiniment petits, parallèles à amn, ayant chacun pour base une des hyperboles élémentaires, et pour hauteur une partie infiniment

petite de la hauteur totale Ap de l'onglet. En multipliant donc la surface de l'hyperbole mna par la hauteur infiniment petite de l'élément, on aura la solidité de cet élément : intégrant ensuite l'expression de cette solidité, on obtiendra celle de l'onglet.

Déterminons donc la surface de l'hyperbole élémentaire mna, et nommons $ap = x$, $pm = y$, le demi-grand axe $ac = \frac{1}{2}a$, le demi-petit axe $cS = \frac{1}{2}b$. L'équation de l'hyperbole rapportée à ses deux axes sera $y^2 = \frac{b^2}{a^2}(ax + x^2)$. On sait d'ailleurs que l'élément de la surface d'une courbe, ayant pour base la double ordonnée et pour hauteur une partie infiniment petite de l'abscisse, est $2y\,dx$: donc, $2.S.y\,dx$ sera la surface de l'hyperbole, en y substituant, pour y, sa valeur, que l'on tirera de l'équation de la courbe ; on aura donc, en nommant s la surface de l'hyperbole :

$$s = 2.S.y\,dx = \frac{2b}{a}.S.(ax + x^2)^{\frac{1}{2}}dx.$$

Développant la puissance, on a :

$$(ax + x^2)^{\frac{1}{2}}dx = (a^{\frac{1}{2}}x^{\frac{1}{2}}dx + \frac{1}{2}a^{-\frac{1}{2}}x^{\frac{3}{2}}dx - \frac{1}{8}a^{-\frac{3}{2}}x^{\frac{5}{2}}dx + \frac{1}{16}a^{-\frac{5}{2}}x^{\frac{7}{2}}dx - \frac{15}{384}a^{-\frac{7}{2}}x^{\frac{9}{2}}dx + \text{etc.}).$$

Substituant dans la valeur de s, on aura.

$$s = \frac{2b}{a}.S.(a^{\frac{1}{2}}x^{\frac{1}{2}}dx + \frac{1}{2}a^{-\frac{1}{2}}x^{\frac{3}{2}}dx - \frac{1}{8}a^{-\frac{3}{2}}x^{\frac{5}{2}}dx + \frac{1}{16}a^{-\frac{5}{2}}x^{\frac{7}{2}}dx - \frac{15}{384}a^{-\frac{7}{2}}x^{\frac{9}{2}}dx + \text{etc.}).$$

Intégrant chacun de ces termes, on aura :

$$s = \frac{2b}{a}\left(\frac{2}{3}a^{\frac{1}{2}}x^{\frac{3}{2}} + \frac{1}{5}a^{-\frac{1}{2}}x^{\frac{5}{2}} - \frac{1}{28}a^{-\frac{3}{2}}x^{\frac{7}{2}} + \frac{1}{72}a^{-\frac{5}{2}}x^{\frac{9}{2}} - \text{etc.}\right) + C.$$

x étant facteur commun, on remarque que l'intégrale est zéro quand $x = o$, c'est-à-dire au point A. Dans cette supposition on a $o = o + C$; ce qui indique que la constante est zéro, et qu'il n'y a rien à ajouter dans l'expression de s. On a donc simplement :

$$s = \frac{2b}{a}\left(\frac{2}{3}a^{\frac{1}{2}}x^{\frac{3}{2}} + \frac{1}{5}a^{-\frac{1}{2}}x^{\frac{5}{2}} - \frac{1}{28}a^{-\frac{3}{2}}x^{\frac{7}{2}} + \frac{1}{72}a^{-\frac{5}{2}}x^{\frac{9}{2}} - \text{etc.}\right)\ldots(a).$$

Cette expression donne la surface d'une quelconque des hyperboles

élémentaires de l'onglet, en y substituant, au lieu de a, b et x, leurs valeurs relatives à cette hyperbole : mais si nous l'employons dans l'expression de la solidité de l'élément de l'onglet, comme les quantités a, b, x, varient pour chaque élément, en intégrant pour avoir la solidité, il faudroit tenir compte de leur variation; ce qui feroit trois variables. Nous allons changer cette expression en une autre qui ne renferme qu'une variable.

Pour cela, nous observons que les triangles ACS et Sca, étant semblables, donnent $AC : CS :: Sc : ca$; et comme $CS = 2AC$, donc $ca = 2Sc$, ou $\frac{1}{2}a = b$; donc $a = 2b$. Or $Sc = Cp = AC - Ap$; donc, nommant $Ap = z$, on a $\frac{1}{2}b = (r-z)$; ainsi $b = 2(r-z)$, et $a = 4(r-z)$. De plus, les triangles Apa, ACS, étant semblables, donnent $Ap : pa :: AC : CS$; et comme $CS = 2AC$, on a $pa = 2pA$, ou $x = 2z$. Substituant maintenant les valeurs que nous venons de trouver pour a, b, x, dans l'équation (a), elle deviendra :

$$s = \frac{2}{3}2(r-z)^{\frac{1}{2}}(2z)^{\frac{3}{2}} + \frac{1}{5}4^{-\frac{1}{2}}(r-z)^{-\frac{1}{2}}(2z)^{\frac{5}{2}} - \frac{1}{28}4^{-\frac{3}{2}}(r-z)^{-\frac{3}{2}}(2z)^{\frac{7}{2}}$$

$$+ \frac{1}{72}4^{-\frac{5}{2}}(r-z)^{-\frac{5}{2}}(2z)^{\frac{9}{2}} - \text{etc.}$$

Développant ces diverses puissances, on a :

$$(r-z)^{\frac{1}{2}} = r^{\frac{1}{2}} - \frac{1}{2}r^{-\frac{1}{2}}z - \frac{1}{8}r^{-\frac{3}{2}}z^2 - \frac{3}{48}r^{-\frac{5}{2}}z^3 - \text{etc.}$$

$$(r-z)^{-\frac{1}{2}} = r^{-\frac{1}{2}} + \frac{1}{2}r^{-\frac{3}{2}}z + \frac{3}{8}r^{-\frac{5}{2}}z^2 + \frac{15}{48}r^{-\frac{7}{2}}z^3 + \text{etc.}$$

$$(r-z)^{-\frac{3}{2}} = r^{-\frac{3}{2}} + \frac{3}{2}r^{-\frac{5}{2}}z + \frac{15}{8}r^{-\frac{7}{2}}z^2 + \frac{105}{48}r^{-\frac{9}{2}}z^3 + \text{etc.}$$

$$(r-z)^{-\frac{5}{2}} = r^{-\frac{5}{2}} + \frac{5}{2}r^{-\frac{7}{2}} + \frac{35}{8}r^{-\frac{9}{2}}z^2 + \frac{315}{48}r^{-\frac{11}{2}}z^3 + \text{etc.}$$

Substituant ces valeurs dans l'expression de s, et ordonnant par rapport aux diverses puissances de z, on aura, toute réduction faite :

$$s = \frac{2}{3}2^{\frac{5}{2}}r^{\frac{1}{2}}z^{\frac{3}{2}} - \frac{7}{15}2^{\frac{3}{2}}r^{-\frac{1}{2}}z^{\frac{5}{2}} - \frac{71}{420}2^{\frac{1}{2}}r^{-\frac{3}{2}}z^{\frac{7}{2}} - \text{etc.},$$

expression de la surface d'une quelconque des hyperboles, et où il

n'entre qu'une variable. Multipliant par dz, qui est la hauteur de l'élément, et intégrant chaque terme, on aura :

$$\text{Solidité de l'onglet} = \frac{4}{15} 2^{\frac{5}{2}} r^{\frac{1}{2}} z^{\frac{5}{2}} - \frac{2}{15} 2^{\frac{3}{2}} r^{-\frac{1}{2}} z^{\frac{7}{2}} - \frac{71}{1890} 2^{\frac{1}{2}} r^{-\frac{3}{2}} z^{\frac{9}{2}} - \text{etc.};$$

quantité à laquelle il n'y a pas de constante à ajouter, puisqu'elle se réduit à zéro, ainsi que l'onglet, lorsque $z = o$. Si l'on fait $z = \frac{1}{2} nr$, on aura la solidité totale de l'onglet :

$$\text{Sol. tot. de l'onglet} = r^3 \left(\frac{4}{15} n^{\frac{5}{2}} - \frac{2}{15} \left(\frac{1}{2}\right)^2 n^{\frac{7}{2}} - \frac{71}{1890} \left(\frac{1}{2}\right)^3 n^{\frac{9}{2}} - \text{etc.} \right)$$

Le double de cette expression donne celle du solide commun cherché;

$$\text{Donc Solide commun} = 2r^3 \left(\frac{4}{15} n^{\frac{5}{2}} - \frac{2}{15} \left(\frac{1}{2}\right)^2 n^{\frac{7}{2}} - \frac{71}{1890} \left(\frac{1}{2}\right)^3 n^{\frac{9}{2}} - \text{etc.} \right)$$

On peut, au moyen de cette formule, déterminer tout solide commun de deux entonnoirs de mines, en mettant en place de n le nombre qui exprime, en parties du rayon de ces entonnoirs, de combien ils se recroisent; et c'est ce que nous voulions démontrer.

Note 13, *page* 128.

Bélidor explique différemment la délimitation naturelle des plus grands entonnoirs. Il prétend que la poudre, particulièrement celle des grosses charges, ne s'enflammant pas toute à la fois, ce qui s'en enflamme dans les premiers instans détermine l'évasement d'un entonnoir, en meurtrissant les terres, de progrès en progrès, jusqu'à une certaine limite qui, dans le terrain tenant le milieu entre celui qui a le plus de ténacité et celui qui en a le moins, s'étend latéralement jusqu'au point de produire un entonnoir d'un diamètre égal à six fois la ligne de moindre résistance du fourneau. Il ajoute que le fluide de ce qui reste de poudre à enflammer après que les terres sont ainsi meurtries, n'éprouvant d'autre résistance que celle de leur poids, cet obstacle est si foible que, dans l'effort qu'il déploie pour le vaincre, il n'en peut faire qui agrandisse encore le diamètre de l'entonnoir.

Note 14, *page* 135.

A défaut de preuves bien constatées, nous supposons, sur de simples indices, que 3660 livres de poudre, placées dans un fourneau de 12 pieds de ligne de moindre résistance, produiront un entonnoir d'un

diamètre sextuple de cette ligne, ou de 36 pieds de rayon.[1] Cette supposition n'est pas tout-à-fait gratuite; car, 1.° Bélidor a fait jouer trois fourneaux de 12 pieds, chargés chacun de 3600 livres de poudre, qui ont produit des entonnoirs d'environ 72 pieds de diamètre, et, 2.°, le général Marescot cite (à la note *k* de son Mémoire sur la fortification souterraine, sous le n.° 4) un fourneau pareil, ou peut-être un des trois de Bélidor, qui, avec la même charge de 3600 livres de poudre, a produit un entonnoir de 36 pieds de rayon. Nous supposons encore que ces fourneaux ainsi chargés ont joué dans un terrain qui n'exigeoit que 12 livres de poudre par toise cube, et nous fondons cette seconde supposition sur une probabilité qui, selon nous, équivaut presque à une certitude. En effet, n'est-il pas presque certain que, voulant faire de telles épreuves, on a choisi de préférence le terrain qui, indépendamment qu'il est celui de tous qui demande le moins de poudre, est encore celui que l'on rencontre le plus fréquemment? Nous partons donc de là pour chercher si, au moyen de la charge simple connue et de la plus forte surcharge, dont nous supposons qu'on a constaté l'effet dans un fourneau de 12 pieds, on ne pourroit pas, 1.° déterminer les surcharges qui conviennent pour obtenir tous les effets intermédiaires qu'on voudroit produire avec le même fourneau, et 2.° si, par une analogie bien facile à saisir, on ne pourroit pas aussi déterminer les surcharges qu'exige tout autre fourneau pour produire des effets correspondans à celui de 12 pieds. Voici notre méthode.

Nous commençons par chercher quelle seroit la ligne de moindre résistance du fourneau qui, chargé de 3660 livres de poudre et jouant dans un terrain qui en exige 12 livres par toise cube, produiroit un

---

1. Nous employons ici les anciennes mesures, parce que n'ayant en vue que d'expliquer notre méthode, il n'importe en rien, sous ce rapport, que nous les employions ou les nouvelles. N'étant pas sûrs, d'ailleurs, que notre première donnée soit exacte; croyant, au contraire, qu'elle ne l'est pas, et son défaut de justesse influant sur les résultats qu'elle fait trouver, il nous a semblé indifférent d'exprimer ces résultats d'une manière ou d'une autre, puisque nous ne pouvons les donner comme définitifs. Nous ajoutons que, nous proposant de comparer ces mêmes résultats avec ceux que donnent différentes formules, et avec des charges de poudre exprimées en anciennes mesures dans les ouvrages d'où nous tirerons nos citations, il eût été trop fastidieux, en même temps qu'inutile, de ramener toutes ces quantités aux mesures nouvelles.

entonnoir ordinaire. Pour cela, sachant que le fourneau ordinaire de 12 pieds, situé dans le même terrain, demande 176 livres de poudre, nous disons, conformément au principe que les charges des fourneaux ordinaires sont entre elles comme les cubes de leur ligne de moindre résistance, $176 : 3660 :: 1728 : x = 35505$, dont la racine cube est si près de 33 que nous prenons sans difficulté le fourneau de 33 pieds pour celui que nous cherchons.[1] S'agit-il maintenant de déterminer les quantités de poudre que demande le fourneau de 12 pieds, jouant toujours dans le terrain en question, pour produire, par exemple, des entonnoirs de 18, de 24, de 30 pieds de rayon? Nous construisons sur une même échelle, pour notre facilité et pour nous rendre plus clairs, les figures suivantes, cotées 1 et 2.

Fig. 1.re

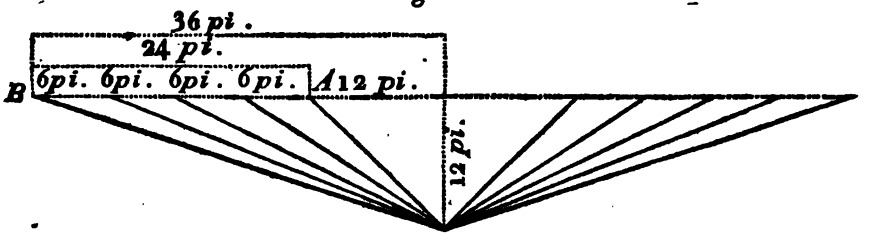
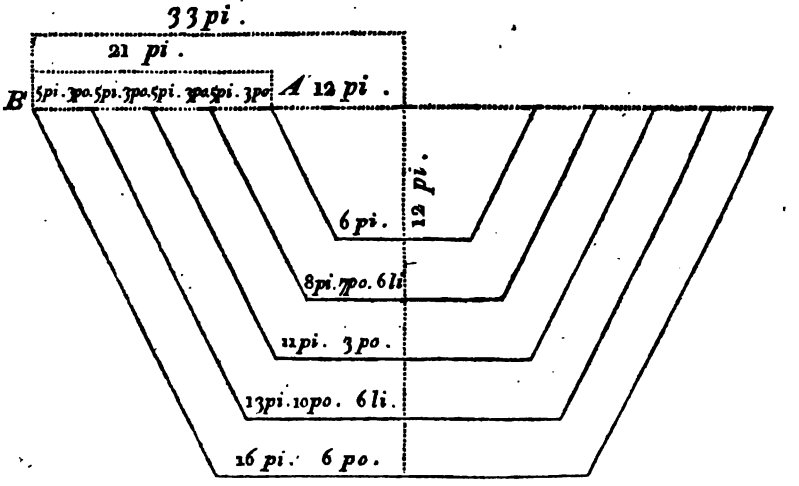


Fig. 2.



1. Il ne faut qu'ajouter un quart de livre de poudre aux 3660 livres pour avoir 35937, cube exact de 33.

La première figure représente, de *A* en *B*, les accroissemens progressifs des rayons suivant la gradation que nous venons d'énoncer; et la seconde indique, 1.° l'entonnoir ordinaire du fourneau de 12 pieds, 2.° celui du fourneau de 33 pieds, et 3.° enfin, de *A'* en *B'*, intervalle qui est la différence des rayons des deux fourneaux ci-dessus, un égal nombre de parties proportionnelles aux accroissemens de rayon marqués sur *A B*, fig. 1.re Nous remarquons que les parties de cette ligne sont à celles de la ligne *A' B'*, fig. 2, dans le rapport de 24 à 21, ou de 8 à 7, et que par conséquent celles de la première étant de 6 pieds, celles de la seconde en sont les $\frac{7}{8} = 5$ pieds 3 pouces. Nous achevons enfin de construire la figure 2. Ayant par ce moyen autant de fourneaux ordinaires (dont il nous est facile de connoître les charges) que la figure 1.re a de rayons différens, nous concluons, *puisque la charge du fourneau de 33 pieds est identique avec la surcharge du fourneau de 12 pieds produisant un entonnoir de 36 pieds de rayon*, que toutes les autres charges des fourneaux de la figure 2 sont aussi identiques, chacune à chacune, avec toutes les autres surcharges de la figure 1.re: il nous semble que cela parle autant à l'esprit qu'aux yeux, et que c'est incontestable.

Nous ne croyons pas hors de propos de présenter ici le tableau des résultats que donne notre méthode, et de ceux qu'on obtient par les formules de Bélidor, du major Mouzé et du général Marescot. Rappelons d'abord ces formules.

Suivant Bélidor, les surcharges sont proportionnelles au cube des rayons d'explosion.

Suivant le major Mouzé, elles sont proportionnelles au carré des rayons des entonnoirs.

Suivant le général Marescot, elles sont proportionnelles au produit du carré des rayons des entonnoirs par les rayons d'explosion.

Il est entendu que les terrains sont censés de même nature.

Que l'on suppose donc un fourneau qui ait une ligne de moindre résistance quelconque, jouant dans un terrain qui exige douze livres de poudre par toise cube: les quantités de poudre pour lui faire produire des entonnoirs de différens rayons varieront, suivant notre méthode et les formules de Bélidor, du major Mouzé et du général Marescot, dans les proportions indiquées dans le tableau suivant.

Tableau des quantités de poudre pour la charge d'un fourneau de 12 *pieds de ligne de moindre résistance, dans un terrain qui exige* 12 *livres de poudre par toise cube, et devant produire des entonnoirs de* 18, 24, 30 *et* 36 *pieds de rayon.*

GRANDEUR des RAYONS.	RÉSULTATS.			
	Par notre méthode.	Par la formule de Bélidor.	Par la formule du major Mouzé.	Par la formule du gén. Marescot.
pieds.	liv. de poudre.	liv. de poudre.	liv. de poudre.	liv. de poudre.
18.	522.	365.	396.	504.
24.	1160.	696.	704.	1114.
30.	2176.	1214.	1100.	2094.
36.	3660¼.	1968.	1584.	3545.

Les énormes différences qu'on remarque entre les résultats que donnent la formule de Bélidor et ceux de notre méthode, ainsi que les différences presque insensibles que présentent les résultats de la formule du général Marescot comparés aux nôtres, appartiennent à la même cause : c'est que dans ces formules, quoiqu'on sache très-bien que les divers entonnoirs qu'on peut faire produire au même fourneau ne sont point de figures semblables, on procède néanmoins comme s'ils l'étoient. Dans les entonnoirs produits par des fourneaux semblables avec des charges croissantes, il n'y a que les rayons qui s'accroissent; car la hauteur qu'exprime la ligne de moindre résistance ne se comptant jamais que du centre des poudres, elle est toujours la même. Ainsi, soit qu'on emploie les rayons des entonnoirs, ou ceux d'explosion, ou tous les deux à la fois, pour déterminer les charges des fourneaux surchargés, comme l'emploi de ces rayons, de quelque manière qu'on les envisage, ne paroît pas susceptible d'une démonstration qui le justifie, n'est-on pas fondé à dire que rencontrer juste par ce moyen seroit un bonheur dont il faudroit équitablement attribuer une partie au hasard, sauf à mettre l'autre sur le compte de la science? Ne pouvant donc, avec

quelque apparence de succès, continuer à employer les rayons des entonnoirs et ceux d'explosion pour arriver à une bonne formule, nous avons cherché une méthode qui, en rapportant les entonnoirs formés par des surcharges aux entonnoirs ordinaires, fît trouver pour ceux-ci des dimensions proportionnées aux surcharges qui produisent les autres. Nous croyons avoir atteint ce but; car quelle que soit la charge que des expériences répétées confirmeront être la véritable pour produire l'entonnoir sextuple, on conviendra que notre méthode donnera très-exactement les charges de tous les entonnoirs intermédiaires.

Le général Marescot, en combinant les deux lignes variables semblablement menées dans les entonnoirs réels, obtient des résultats peu différens des nôtres; mais comme cette combinaison n'est qu'un correctif, très-heureux à la vérité, de la formule vicieuse de Bélidor, nous sommes portés à croire que la charge de trois mille six cent soixante livres de poudre que nous avons prise au lieu de trois mille six cents livres seulement, n'est pas trop forte, et même ne l'est pas assez pour produire l'entonnoir sextuple.

A l'égard de la formule du major Mouzé, il est surprenant que non-seulement ce savant mineur ne se soit pas aperçu qu'elle ne lui donnoit pas des quantités de poudre suffisantes, mais encore qu'il ait dit (page 92 de l'excellent ouvrage qu'il vient de publier) que les résultats que donne la formule de Bélidor et les siens étoient les mêmes. C'est une erreur que le sujet que nous traitons nous entraîne à relever, en protestant toutefois de notre profond respect et de notre parfaite estime pour l'auteur de l'ouvrage dans lequel elle se trouve.

Expliquons maintenant comment nous entendons qu'on peut appliquer notre méthode à la détermination des surcharges des fourneaux de plus ou de moins de 12 pieds de ligne de moindre résistance.

Ce moyen est fort simple et doit se pressentir. Faut-il déterminer, par exemple, la quantité de poudre qu'exige un fourneau de 20 pieds pour produire un entonnoir d'un rayon triple de sa ligne de moindre résistance? Comme cet entonnoir correspond à celui de trente-six pieds de rayon, produit par un fourneau de douze pieds, le fourneau ordinaire dont la charge sera identique avec celle cherchée, correspondra aussi avec celle du fourneau ordinaire dont la charge a été *supposée* identique avec celle du fourneau de douze pieds pro-

duisant un entonnoir de trente-six pieds de rayon. On peut donc raisonner ainsi la proportion à établir pour avoir la ligne de moindre résistance du fourneau ordinaire dont la charge sera égale à celle qu'on cherche : *la ligne de moindre résistance du fourneau auquel on a fait produire un entonnoir de trente-six pieds de rayon, en le chargeant comme fourneau de trente-trois pieds, est à la ligne de moindre résistance de celui auquel on veut faire produire un entonnoir de soixante pieds de rayon, comme trente-trois est à un quatrième terme qui sera la ligne de moindre résistance du fourneau correspondant à celui de trente-trois pieds.* Ainsi ce quatrième terme, qui est cinquante-cinq, indique que la charge ordinaire d'un fourneau de cinquante-cinq pieds de ligne de moindre résistance est celle qui convient à un fourneau de vingt pieds pour lui faire produire un entonnoir de soixante pieds de rayon. Cette charge est de 16,945 livres de poudre lorsque le terrain n'en exige que 12 livres par toise cube. [1]

Il est encore d'autres moyens d'arriver au même résultat, desquels nous allons citer le plus utile. On a vu que les accroissemens des rayons des entonnoirs de la figure 1.re étoient aux parties proportionnelles correspondantes de la figure 2, dans le rapport de 8 à 7. Il en est encore ici de même, et cela doit être. En conséquence, si l'on vouloit avoir une série quelconque de fourneaux dont les charges ordinaires convinssent à l'obtention d'une égale série d'entonnoirs réels, augmentant toujours de rayon sans augmenter de hauteur, il ne s'agiroit que de noter ces accroissemens et d'en retrancher un huitième. Le reste

---

1. Bélidor a indiqué, comme règle de pratique seulement, que pour faire produire aux divers fourneaux des entonnoirs sextuples, il falloit les charger d'autant de fois 300 livres de poudre que leur ligne de moindre résistance avoit de fois un pied. Si Bélidor, qui étoit à la fois et grand mathématicien et bon observateur, eût un peu réfléchi à ce qu'il disoit, il n'est pas douteux qu'il ne se fût bientôt aperçu que sa règle de pratique ne valoit rien du tout. Voici probablement par quoi il aura été conduit à trouver cette mauvaise règle. Ses trois fourneaux de 12 pieds, chargés de 3600 livres de poudre, ayant produit des entonnoirs d'environ 72 pieds de diamètre, il aura conclu, sans y penser autrement, que cette charge étant égale à 12 fois 300 livres de poudre, on feroit produire à tous les fourneaux indistinctement des effets analogues à celui du fourneau de 12 pieds, en les chargeant aussi à raison de 300 livres de poudre par chaque pied connu de leur ligne de moindre résistance.

exprimeroit la grandeur du rayon ou de la ligne de moindre résistance des fourneaux correspondans, dont les charges ordinaires seroient celles cherchées.

Cette dernière manière d'opérer, beaucoup plus brève et aussi générale que l'autre, nous dispense de dire comment il faudroit s'y prendre si le fourneau à surcharger avoit moins de 12 pieds de ligne de moindre résistance. Nous allons donc terminer cette note par comparer les surcharges que donne notre méthode, à celles employées par les Prussiens dans les trois premiers fourneaux surchargés qu'ils firent jouer au siége de Schweidnitz. Nous avertissons que tous ceux qui ont parlé des charges et des effets de ces fourneaux l'ayant fait diversement, nous croyons ne pouvoir mieux faire que de tirer les documens dont nous avons besoin de l'ouvrage du major Mouzé, dans lequel l'énoncé des charges, en nombres passablement hétéroclites, prouve que l'auteur a eu égard à la différence de la livre prussienne à la livre poids de marc, et sans doute aussi à la différence du pied du Rhin au pied françois.

Nous trouvons que les trois fourneaux en question furent chargés, le premier de 5005, le second de 2403, et le troisième de 2530 livres de poudre; qu'ils avoient, le premier 15, le second 18, et le troisième 20 pieds de ligne de moindre résistance; qu'enfin leurs entonnoirs étoient, le premier de 39, le second de $29\frac{1}{2}$, et le troisième de 30 pieds de rayon. En supposant qu'il fallût faire produire les mêmes effets aux mêmes fourneaux dans un terrain exigeant 12 livres de poudre par toise cube, notre méthode donne pour le premier fourneau 4751, pour le second 2250, et pour le troisième 2420 livres de poudre. La différence de chaque résultat à la charge correspondante n'étant pas d'un douzième, nous concluons (car on ne peut rien en conclure contre notre méthode), ou que la mesure des entonnoirs n'a pas été bien prise, ou que les charges n'ont pas été fidèlement rapportées, ou que le terrain exigeoit environ 13 livres de poudre par toise cube au lieu de 12 livres; ou, enfin, que la charge de 3660 livres de poudre, que nous avons supposée être suffisante pour produire l'entonnoir sextuple avec un fourneau de 12 pieds dans celui des terrains qui demande le moins de charge, n'est pas capable d'un tel effet.

Encore un rapprochement, et nous finissons. Le général Marescot, à

la note 10 déjà citée de son mémoire sur la fortification souterraine, mentionne, sous le n.° 5, un fourneau de 15 pieds de ligne de moindre résistance, qui produisit un entonnoir de 33 pieds de rayon avec une charge de 3000 livres de poudre. S'il s'agissoit de répéter le même effet avec le même fourneau dans un terrain de nature à exiger 12 livres de poudre par toise cube, nous trouvons que la charge seroit de 2754 livres de poudre, suivant la formule du général Marescot, et de 2961 livres, suivant notre méthode, en prenant pour vérité la supposition que nous avons établie au commencement de cette note. Mais comme il nous paroît très-probable que le fourneau mentionné par le général Marescot a lui-même joué dans le terrain en question, la petite différence qui existe entre notre résultat et la charge employée pour ce fourneau nous persuade de plus en plus que la charge que nous avons prise, non pour servir d'appui à notre méthode, mais pour en rendre l'explication plus intelligible, que cette charge, disons-nous, est trop foible de quelque chose.

Quoi qu'il en soit de notre sentiment à cet égard, les diverses comparaisons que nous avons faites de nos résultats avec des charges dont les effets ont été assez bien constatés, nous confirment dans l'opinion que nous avons de la bonté de notre méthode, et nous croyons pouvoir garantir que dès qu'on pourra partir d'une donnée non suspecte, on sera en état de dresser des tables de charges pour les fourneaux surchargés, comme on l'a fait pour les fourneaux ordinaires. [15]

Note 15, page 153.

Le système de Mouzé n'est plus le seul qui ait été conçu avec l'intention d'en rendre les parties le moins en prise possible aux effets des fourneaux surchargés. Le général Marescot, dans l'ouvrage que nous avons cité à la note 3, en propose un qui mérite toute l'attention des officiers du corps. On ne pouvoit mieux disposer les galeries principales pour les faire jouir d'une abondante circulation d'air, et leur faire refuser le flanc aux rayons commoteurs des globes. Nous jugeons ce système de beaucoup supérieur à tous ceux qui l'ont précédé, et peut-être n'en fera-t-on jamais un meilleur en s'éloignant des principes de son tracé. Ce qui est certain, c'est qu'il est capable d'une bien plus longue résistance que celui que nous avons imaginé pour

traiter, sans répéter nos prédécesseurs, le sujet de l'attaque et de la défense des places par les mines. Nous croyons toutefois que, pour lui donner cet avantage sur le nôtre, il faudroit qu'il n'eût qu'un étage de fourneaux au lieu d'en avoir plusieurs. Nous sommes convaincus qu'en lui adaptant des fourneaux de diverses grandeurs; qu'en en détachant de petits en avant pour aller à la découverte de l'ennemi et escarmoucher avec ses premiers fourneaux, comme le dit le général Marescot, l'ennemi qui, à notre avis, ne s'amusera point à escarmoucher et procèdera de suite par de très-gros fourneaux très-fortement chargés, enlèvera en même temps les fourneaux les plus voisins de la surface et ceux de la moyenne région, par cela seul qu'il visera d'abord à détruire ceux de la partie inférieure. Que tous les fourneaux défensifs, au contraire, soient établis sur le même plan et, quand cela se peut, au plus bas du terrain, ce sera alors tout-à-fait différent; car, dans ce cas, deux fourneaux de deux rangs consécutifs ne pourront jamais être enlevés à la fois.

Le général Marescot s'étant borné à donner le tracé de son système et à énoncer ses propriétés principales, particulièrement celles résultant de l'arrangement de ses galeries, nous avons d'abord eu l'intention de nous en emparer dans l'état où l'a laissé son auteur; d'y faire des changemens basés sur notre opinion relativement à la pluralité des étages, ainsi que quelques autres moins importans, et de le soumettre à une attaque puissante, comme nous l'avons fait pour le nôtre. Mais pour faire sentir ce qu'il y auroit à gagner à lui faire subir les changemens en question, il auroit fallu le soumettre tel qu'il est à une attaque également puissante; ce qui, eu égard au temps qui nous restoit pour achever notre travail, nous auroit mené trop loin. C'eût été pourtant la plus forte démonstration que nous pussions donner de la justesse de nos raisonnemens sur l'inutilité des deux premiers étages de fourneaux des dispositions qui en ont trois, que de mettre les mineurs en état de reconnoître que le meilleur système proposé jusqu'ici pouvoit acquérir un plus grand degré de force en ne lui donnant qu'un étage de fourneaux. Nous n'avons pu joindre cette démonstration à celles dont nous avons étayé notre opinion; mais il nous semble qu'elle peut s'en passer. Quand tout est prouvé, une démonstration de plus est inutile, par cela seul qu'elle est surabondante.

NOTE 16, *page* 160.

Le trépan connu jusqu'aujourd'hui par les mineurs n'est point du tout maniable. Chaque fois que nous avons voulu nous en servir, même lorsqu'il ne s'agissoit que de percer 2 à 3 mètres (6 à 9 pieds) de terre assez douce, nous avons été obligés d'y renoncer. Le principal vice de cet instrument est d'exiger qu'on en supporte le poids en même temps qu'on le meut, ce qui diminue beaucoup la force avec laquelle il a besoin d'être poussé pour mordre dans le terrain : les débris qui tombent sur la tête, les bras et les mains des mineurs, le rendent encore aussi incommode que fatigant. Pour le rendre d'un service plus sûr, plus facile et plus général, M. Boudier, professeur de dessin à l'École des troupes du génie, nous a donné l'idée de le monter sur châssis, et de le faire mouvoir au moyen d'une vis et de manivelles; le tout comme on le voit aux fig. *A*, *B*, *C*, *D*, *E*, *F* et *G*. La fig. *A* le représente perforant le terrain verticalement, et la fig. *B* horizontalement. A l'égard des autres figures elles suppléent aux détails de construction que nous ne donnons point. Nous avertissons seulement, quoique la figure *B* le fasse assez connoître, que, pour employer le trépan en position horizontale, il est nécessaire, vu la longueur de l'instrument quand il est monté, de faire une amorce d'un mètre (3 pieds) dans le côté de la galerie où l'on veut donner le coup de trépan. Nous ne garantissons pas absolument qu'avec ces additions le trépan soit désormais d'un meilleur usage que par le passé; il faudroit pour cela en avoir fait l'expérience : mais nous croyons que l'utilité qu'on en retireroit si on réussissoit à le rendre tel qu'on le désire, mérite au moins qu'on fasse cette expérience.

NOTE 17, *page* 169.

On est convenu d'appeler *fougasses* les fourneaux qui n'ont pas 3,25 mètres (10 pieds) de ligne de moindre résistance : les fougasses sont par conséquent de petits fourneaux, dont les charges se calculent comme celles de ces derniers.

NOTE 18, *page* 170.

Les camouflets sont de petits fourneaux dont l'usage est expliqué dans le texte, et auxquels on ne veut point faire produire d'effet

extérieur. Voici comment on règle leurs charges dans cette vue. Connoissant l'épaisseur de terre qui repose sur le foyer d'un camouflet à faire jouer, et supposant qu'on veuille étendre son effet intérieur, ou effet unique, à une distance quelconque, mais qui ne peut être plus grande que cette épaisseur sans lui faire produire d'entonnoir, on prend pour termes d'un premier rapport le rayon d'explosion et la charge d'un fourneau ordinaire, censé situé dans le même terrain et d'une ligne de moindre résistance arbitraire (n.° 208); et on établit cette proportion : le rayon d'explosion du fourneau de comparaison est à la quantité de poudre qui l'a produit, comme l'étendue de l'effet intérieur à faire produire au camouflet est à un quatrième terme, qui est sa charge.

Note 19, *page* 179.

L'accumulation des terres dans une partie quelconque des tranchées peut déceler la position des fouilles souterraines. Cependant, comme ces terres peuvent être portées au loin et s'accumuler ailleurs pour donner le change à l'assiégé, il ne faut pas toujours juger de l'endroit où travaille le mineur assiégeant par celui où l'on voit s'augmenter progressivement la masse des terres des tranchées. Un indice plus certain est celui qu'on se procure par des observations faites de quelque edifice élevé de la place.

Note 20, *page* 187.

La plus forte objection que croient faire les détracteurs des mines, n'est pas ce qu'elles coûtent à construire, mais la grande consommation de poudre qu'elles occasionnent. Voici ce qu'on peut leur répondre. Faites en sorte d'avoir tel nombre de bouches à feu en batterie, que les 48 ou même les 66 à 67 mille kilogrammes de poudre qu'exigent les mines soient consumés en plus par l'artillerie, et prouvez, après cela, que la durée de la défense sera la même que celle dans laquelle interviennent les mineurs. Vous ne le prouvez pas ? consentez donc qu'on fasse par le moyen des mines ce qu'on ne peut faire par celui de l'artillerie ni par tout autre.

Note 21, *page* 194.

Les globes de compression sont sans contredit ce qu'il y a de mieux pour abréger les discussions de mineurs à mineurs. Ils entraînent à la

vérité quelques inconvéniens graves, tels que d'encombrer par d'incommodes déblais les cheminemens extérieurs, de détruire quelquefois ces mêmes cheminemens quand on leur fait suivre les progrès des travaux souterrains, de lancer des terres et des pierres jusqu'à 5 à 600 mètres (2 à 300 toises) dans les tranchées environnantes, d'établir enfin une sorte de labyrinthe semé de précipices et de monticules entre la dernière parallèle et les ouvrages attaqués : mais que faire à cela ? ce sont des vices inhérens à un mode d'attaque qui, malgré tout, est encore bien préférable à celui qui n'admet que les fourneaux ordinaires ; car si l'on employoit exclusivement ce dernier mode, il n'y a pas de doute que toute disposition de mines, quelque mauvaise qu'elle fût, n'augmentât par là même sa force et ses moyens de résistance. Au reste, en envisageant bien les deux manières d'attaquer mises en usage à Berg-op-zoom et à Schweidnitz, et tout en reconnoissant la supériorité de la dernière, on apprend aussi que ceux qui ont cru anéantir facilement par les globes les défenses souterraines, se sont non-seulement trompés sur ce point, mais encore qu'ils ont méconnu que tout en nuisant à leur ennemi ils ne se nuisoient guères moins à eux-mêmes.

Encore un mot intéressant sur les fourneaux surchargés. Les Russes, suivant ce qu'on raconte des siéges de Choczim et de Bender, les emploient même à l'attaque des places qui ne sont pas défendues par les mines. Leur but est de renverser par là les contrescarpes, et de lancer contre les revêtemens opposés beaucoup de terres et de décombres, pour former, avec les débris des parapets écrétés par le canon, une rampe qui leur facilite l'assaut. C'est apparemment dans les mêmes vues, et non pour opérer la destruction des mines défensives, que les Autrichiens employèrent des globes au siége de Valenciennes, place minée et renfermant une compagnie de mineurs. En effet, à l'époque où les assiégeans travaillèrent à renverser la contrescarpe par le jeu de quelques gros fourneaux, ils devoient être à peu près certains que cette besogne n'éprouveroit point d'obstacle de la part des mineurs et des mines de la place, dont les assiégés, on ne peut imaginer pourquoi, n'avoient jusque-là tiré aucun parti. Ceux qui aiment à découvrir l'origine d'une bonne idée trouveront probablement que celle des Russes leur est venue en réfléchissant sur l'heureux résultat du dernier des quatre globes que l'ingénieur Lefebvre fit jouer au siége de Schweidnitz.

Note 22, page 195.

Nous avons moins cherché à convaincre de la bonté de notre système qu'à établir sa supériorité sur ceux qui ont plusieurs étages de fourneaux. On ne peut disconvenir cependant que ceux-ci ne fussent très-ingénieux, qu'ils n'offrissent des combinaisons heureuses, originales, qu'ils n'eussent enfin tout le mérite qu'il leur falloit, quand l'assiégeant, ignorant les effets ou dédaignant l'usage des globes de compression, ne les attaquoit que par des fourneaux ordinaires, ou portoit la complaisance jusqu'à se poster deux ou trois fois sur le même point pour se faire sauter. Mais aujourd'hui qu'il n'en est plus ainsi, quelle utilité retireroit-on des deux tiers des fourneaux qui entrent dans la composition des systèmes à trois étages? aucune, sans contredit. Il étoit donc bien instant de faire aux systèmes de mines défensives les changemens de forme que nécessite le genre d'attaque qu'ils auront désormais à soutenir.

Note 23, page 219.

Ceci étoit écrit avant que l'ordre fût donné de munir chaque compagnie de mineurs d'un équipage de campagne. Le nombre et l'espèce des outils renfermés dans les fourgons déjà faits et délivrés, sont conformes à l'état que nous donnons.

Note 24, page 232.

Les expériences faites à Metz, en l'an 9, par M. Mouzé, dont les détails se lisent dans le premier numéro du Mémorial de l'officier du génie, et dont le but étoit de régler les rapports entre l'augmentation des charges et la diminution du bourrage des mines; ces expériences ont donné des résultats qui paroissent à la première vue ne pas s'accorder, mais qui à l'examen s'accordent très-bien avec ce que nous disons. Ne considérons ici des expériences de Metz que celle dans laquelle on a remplacé tout le bourrage par l'addition d'une quantité de poudre égale à la charge simple. Il étoit question de crever un puits; à Vérone il s'agissoit de renverser sur une grande longueur un mur de revêtement, au moyen de huit fourneaux, à la charge de chacun desquels nous disons qu'il eût suffi d'ajouter moitié en sus. L'épreuve a réussi à Metz, et nous ne doutons pas qu'elle n'ait également réussi à

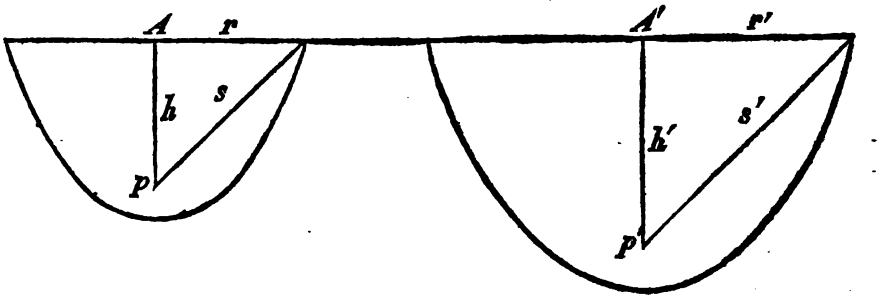
Vérone, quoique, tout compensé, la charge désignée n'ait été à celle employée à Metz que dans le rapport de 3 à 4. Mais voici des considérations qui établissent une sorte de parité entre le fait de Metz et la proposition de Vérone. 1.° Nos huit fourneaux, sans être ce qu'on appelle bourrés, n'auroient point été tout-à-fait dépourvus de bourrage, puisque notre intention étoit de les arc-bouter; 2.° la poudre enflammée entre deux masques est capable de plus d'effort que quand on laisse une issue par où son fluide peut s'échapper et son ressort se détendre; 3.° enfin, le côté d'un puits, eu égard à sa surface bornée, est plus difficile à bouleverser qu'un long mur. Tout cela pouvant donc être regardé comme l'équivalent d'un tiers de bourrage effectif, le cas proposé rentre parfaitement dans celui où M. Mouzé, voulant produire le même effet qu'avec un bourrage entier et une charge simple, supprime deux tiers de bourrage et augmente la charge de moitié.

Note 25, page 276.

M. Dobenheim, professeur de fortifications à l'École impériale d'artillerie et du génie, a bien voulu nous communiquer de nouvelles vues sur la charge des mines. Ses idées et ses calculs sur ce sujet nous ont paru très-intéressans, tant par leur nouveauté que par les résultats extrêmement utiles qui en découlent; et nous croyons rendre un véritable service à la science que d'en enrichir ce traité. Sans doute, nous aurions pu fondre entièrement dans notre ouvrage la note de M. Dobenheim; mais nous avons cru devoir l'offrir au public connoisseur dans toute sa pureté et sans la dénaturer d'aucune manière.

1.° *Charges relatives à la grandeur des entonnoirs.*

« Supposons les deux entonnoirs semblables A et A', qui doivent être « formés dans le même terrain : nommons h, h', leurs lignes de moindre « résistance; r, r', leurs rayons; p, p', leurs charges.



« Lorsque les deux entonnoirs sont semblables, les expériences les « moins contestées, d'accord avec le raisonnement, donnent $p : p' ::$ « $h^3 : h'^3$, ou $\frac{p}{h^3} = \frac{p'}{h'^3}$.

« Supposons de plus $r = h$, ou $r' = h'$, ce qui est le cas de l'enton- « noir ordinaire. Faisant pour ce cas $\frac{p}{h^3} = g$, on aura de même $g = \frac{p'}{h'^3}$ « $= \frac{p''}{h''^3}$ etc. : ou $p = g h^3$; $p' = g h'^3$; $p'' = g h''^3$ etc. Cette quantité g « sera une constante pour chaque nature particulière de terrain, et nous « admettrons qu'elle peut toujours être donnée, directement ou indirecte- « ment par l'expérience. Par exemple, dans le terrain le plus ordinaire, « lorsque $h = r = 10$ pieds, on a sensiblement $p = 100$ livres; d'où $\frac{p}{h^3}$ « $= \frac{100}{1000} = \frac{1}{10} = g$. Dans ce terrain, on aura toujours pour les autres « entonnoirs ordinaires $p' = \frac{1}{10} h'^3$; $p'' = \frac{1}{10} h''^3$ etc.

« Pour plus de simplicité, faisons $r = n h$. Lorsque l'entonnoir est « simple on a $n = 1$, et l'on pourroit écrire $p = g h^3 \times n$: mais quand « n est plus petit ou plus grand que l'unité, cette formule change; et « au lieu de multiplier simplement par n, il faut multiplier par une « fonction de n, que je représente généralement par $F(n)$.

« Différens auteurs ont écrit sur la nature de cette fonction; et voici « à quoi se réduisent leurs théories et leurs formules.

« Suivant Bélidor, Foissac, Bousmard, $F(n) = \frac{(n^2+1)^{\frac{3}{2}}}{2\sqrt{2}}$; d'où $p =$ « $g h^3 \frac{(n^2+1)^{\frac{3}{2}}}{2\sqrt{2}}$.

« Suivant Mouzé, $F(n) = n^2$; d'où $p = g h^3 \times n^2$.

« Suivant le général Marescot, $F(n) = \frac{n^2\sqrt{n^2+1}}{\sqrt{2}}$; d'où $p =$ « $g h^3 \frac{n^2\sqrt{n^2+1}}{\sqrt{2}}$.

« Selon M. Dobenheim, $F(n) = \frac{(n^2+1)^2}{4}$; d'où $p = g h^3 \frac{(n^2+1)^2}{4}$.

« Enfin, si l'on savoit par expérience que dans le terrain dont il s'agit

« il fallût une charge P pour $n = 3$, et si l'on faisoit $\frac{\sqrt[3]{P}}{g h^3} = l$, on « auroit, suivant MM. Gumpertz et Lebrun, $F(n) = \left(\frac{l-1}{2}(n-1)+1\right)^3$; « d'où $p = g h^3 \times \left(\frac{l-1}{2}(n-1)+1\right)^3$.

« Toutes ces formules, ou, si l'on veut, les théories dont elles sont la « traduction algébrique, se trouvent, à l'exception de celle de M. Dobenheim, plus ou moins bien motivées dans les ouvrages de leurs auteurs; « ainsi il ne reste qu'à motiver celle-ci.

« D'abord, comme toutes les autres, elle satisfait à cette première « condition, que quand $n = 1$, on a $F(n) = 1$; 2.° lorsque $n = o$, p « doit avoir une valeur réelle et positive moindre que la charge du « fourneau ordinaire, et cette valeur est le maximum de la charge « propre à donner le camouflet sous la ligne de moindre résistance h. « 3.° Pour p positif toutes les valeurs réelles de n doivent être égales « entre elles, et il en faut autant de positives que de négatives; les autres « peuvent être imaginaires : et comme il ne peut y avoir en même « temps une valeur $= o$ et des valeurs réelles, la fonction de n doit être « de cette forme, $a(b + cn^2 + dn^4 + en^6 + fn^8$, etc.). 4.° Si $p = o$, h ayant une valeur réelle, n doit être imaginaire ; d'où il suit que « dans l'expression ci-dessus, qui devient zéro puisque alors on a « $o = g h + F(n)$, le terme b aura toujours le signe +.

« 5.° Il est évident que la charge du plus grand camouflet, celle qui « donne $n = o$, a un rapport constant avec celle de l'entonnoir simple, « et qu'on peut la représenter par $\frac{g h^3}{m}$; ce qui, comparé à la fonction (A), « donne $a b = \frac{1}{m}$. De plus, quand $n = 1$, la fonction doit devenir 1; d'où « $a = \frac{1}{b + c + d + e + f, \text{ etc.}}$. Voyons maintenant s'il existe des hypothèses raisonnables qui conduisent à cette fonction (A), et qui s'accordent avec l'expérience.

« Appelons S la ligne tirée du centre des poudres au bord d'un entonnoir. La molécule de terre placée à l'extrémité de cette ligne ne « reçoit point de mouvement; de sorte que si tout étoit semblable d'ail-

« leurs, S^3 multiplié par une constante Y dépendante de la figure de « l'entonnoir, donneroit la charge de poudre. Or, d'une part, la figure « de l'entonnoir peut se désigner par $F'\left(\frac{S}{h}\right)$; et de l'autre il est hors de « doute que plus h est petit par rapport à S, plus la facilité que le fluide « élastique trouve à échapper par le centre de l'entonnoir diminue son « action vers le bord : de sorte que pour qu'il produise l'action ordinaire « à l'extrémité de S, il faut que la charge de poudre soit $S^3 \times F''\left(\frac{S}{h}\right)$. Il « est donc convenable d'adopter pour Y une fonction de $\left(\frac{S}{h}\right)$, d'autant « que, quelle que soit sa forme, elle devient toujours une constante « pour des entonnoirs semblables.

« Essayons d'abord la fonction la plus simple, et supposons $F\left(\frac{S}{h}\right) = q\frac{S}{h}$. « q étant un facteur constant, on aura $p = q\frac{S^4}{h}$; ou, en rétablissant h et n « et remarquant que $S^2 = h^2(n^2+1)$, on aura $p = q\,h^3(n^2+1)^2$ (B). « Quand $n = 1$, cette équation devient $p = 4\,q\,h^3$, et dans ce cas on « doit avoir $p = g\,h^3$: donc $q = \frac{g}{4}$. Substituant cette valeur de q dans (B), « il vient enfin $p = \frac{g\,h^3(n^2+1)^2}{4}$ (C); ou $p = \frac{g\,h^3(1+2n^2+n^4)}{4}$. « Le facteur $\frac{(n^2+1)^2}{4}$ ou $\frac{1}{4}(1+2n^2+n^4)$ satisfaisant complétement « aux conditions générales de la fonction (A), et s'accordant assez bien, « comme on va le voir, avec les expériences connues, il paroît naturel « de s'y tenir jusqu'à ce que de nouvelles expériences forcent à le rectifier.

« En représentant par des lignes les résultats des expériences et des « formules, il devient bien plus commode de les comparer entre eux. « C'est aussi ce que nous allons faire.

« On a généralement $p = g\,h^3 \times F(n)$; d'où $g = \frac{p}{l^3\,F(n)}$. Si $F(n)$ « étoit bien connue, on pourroit trouver la valeur de g pour un terrain « quelconque, au moyen d'un seul fourneau d'épreuve : car ayant pris « arbitrairement h n p, l'expérience donneroit n; d'où l'on déduiroit g. « Mais si $F(n)$ n'étoit pas bien connue, il faudroit, d'après la nature du « terrain comparée avec celle de tous ceux qui ont été soumis à des expé-

« riences multipliées et dont il existe des tables approximatives, essayer « la charge capable de produire l'entonnoir simple, et au besoin l'aug- « menter ou la diminuer jusqu'à ce qu'on obtienne $n = 1$; alors on au- « roit $g = \frac{P}{h^3}$. Nous supposerons toujours qu'on est parvenu à connoître « g, et par conséquent $g\,h^3$.

« C'est ici le lieu de relever une erreur échappée à plusieurs auteurs. « Depuis Vauban, il a été fait un nombre infini d'épreuves pour cons- « tater la quantité de poudre qu'exige la formation des entonnoirs simples « dans toutes sortes de terrain. On a reconnu d'une manière suffisam- « ment certaine que dans telle espèce de terrain, sous une ligne de moin- « dre résistance H, il falloit une quantité P de poudre; c'étoit réellement « tout ce qu'il falloit relativement aux entonnoirs simples. Malheureuse- « ment on ne s'en est pas tenu là. En appelant V le volume de l'enton- « noir, et K la quantité de poudre qu'il faut pour chaque toise cube, on a « dit $P = KV$; donc $K = \frac{P}{V}$. Il ne s'agissoit plus que de connoître V pour « avoir K, que l'on vouloit introduire dans les tables. Les premiers auteurs « ont pris pour V une valeur trop foible, et en ont déduit une valeur « de K trop forte. Les derniers ont trouvé qu'il falloit augmenter V, et « sans songer que P étant invariablement donné par l'expérience, la « diminution de K s'ensuivoit, ils ont conservé K tel qu'il avoit été « trouvé d'abord, et en ont conclu l'augmentation de P, malgré l'expé- « rience qui le fixoit. Voilà pourquoi, par exemple, les uns prescrivent « 102 livres de poudre pour une ligne de moindre résistance de 10 pieds « dans une terre commune mêlée de gravier; tandis que Valière n'en « prescrivoit que 93 livres. Une pareille différence importe peu quand « on n'emploie que des fourneaux simples, mais elle a beaucoup d'in- « fluence dans les fourneaux surchargés.

« Revenons, au reste, aux résultats graphiques que nous avons promis. « Une même ligne AB (fig. 115) peut toujours représenter h en faisant « varier convenablement l'échelle. L'ordonnée constante BC peut aussi, « avec la même attention, représenter $g\,h^3$, c'est-à-dire la charge du « fourneau simple dans un terrain quelconque ayant h pour ligne de « moindre résistance. Ici AB représente tout à la fois cette ligne de « moindre résistance et le rayon de l'entonnoir. Maintenant AB ne

« variant point, si r prend différentes valeurs comparatives, on peut les « porter de A en D, de A en E, de A en F, etc., et à chacun de ces « points élever des ordonnées proportionnelles aux charges correspon- « dantes. Par exemple, s'il s'agit de l'ordonnée EH, on a $AE = r$, ou « $\frac{AE}{AB} = n$, et l'on doit faire $EK = BC \times F(n)$. De cette manière on « peut facilement tracer la courbe $GHCKL$, répondant à la fonction « de n qu'on a adoptée. On tracera de même la courbe $G'H'CK'L'$ « pour une autre fonction. Voyez sur la planche XV les courbes résul- « tant des différentes formules données en commençant. M. Mouzé est « de tous ceux qui ont traité des mines celui qui, dans cette circons- « tance, s'éloigne le plus de ma donnée et de celle de MM. Gumpertz « et Lebrun.

« En suivant la même marche on peut rapporter le résultat d'une ex- « périence quelconque : car soit h' la ligne de moindre résistance, p' la « charge employée, n' le rapport du rayon obtenu à h', et g' le facteur « trouvé par un fourneau d'épreuve; on portera $AB \times n'$ de A en M; on « élevera indéfiniment l'ordonnée MN, et l'on portera sur cette ordonnée « la ligne MO, qui se trouve par cette proportion, $g' h'^3 : p' :: BC : MO$ « $= \frac{BC \times p'}{g' h'^3}$. Le point o indiquera évidemment le résultat de l'expé- « rience, quelle que soit la nature du terrain.

« Toutes les expériences faites et à faire peuvent être rapportées ainsi « sur la même feuille, et, nonobstant les plus grandes variations de « terrain, toutes aboutiroient à une courbe continue et sans inflexion, si « des expériences fondées sur les effets de la poudre contre des matières « hétérogènes étoient susceptibles d'uniformité. En pareil cas, comme « pour le tir du canon, il ne faut compter que sur des résultats moyens; « mais on doit les exprimer, et la meilleure théorie est celle qui « approche le plus.

« Les expériences les plus connues et que l'on trouve consignées dans « Bélidor, Lefebvre, Étienne, Foissac, Bousmard et Mouzé, n'ont pas été « recueillies avec assez de soin. Ces auteurs ne sont pas toujours d'accord « entre eux sur le rapport qu'ils en font; la nature du terrain est dé- « signée trop vaguement, et jamais il n'y a eu de fourneaux d'épreuve. « D'un autre côté, on sait qu'à moins d'une très-grande attention on

« risque de se tromper en plus sur la longueur du rayon de l'entonnoir. « Cependant, malgré ces différentes causes d'incertitude, les expériences « dont il s'agit ont été rapportées sur la planche XV comme il suit.

« Reprenons l'expérience qui a donné le point o, et supposons qu'au « lieu d'avoir exactement g' on ait su seulement que la terre étoit com- « mune, mêlée de sable. Les uns prescrivent 93 livres de poudre pour une « ligne de moindre résistance de 10 pieds, et les autres 102 livres. On « auroit étendu un peu ces limites, et l'on auroit supposé successivement « $P = 90$ et $P = 104$. Puisqu'on a $g = \frac{P}{H^3}$, la première hypothèse eût « donné g minimum $= 0{,}09$, et la seconde g maximum $= 0{,}104$. De ces « deux valeurs de g, substituées l'une après l'autre à la place de g', seroient « résultés deux nouveaux points o', o'', pour la même valeur de n, et « par conséquent la ligne o', o'' pour le lieu de l'expérience. Admettant « ensuite qu'on a pu se tromper en plus d'environ un vingtième sur la « mesure de r, on auroit répété la même opération pour n diminué « de $\frac{1}{20}$. Une autre ligne o''' o^{IV} en seroit encore résultée, et la surface « du rectangle $o' o'' o^{IV} o'''$ eût représenté définitivement le lieu de l'ex- « périence relativement aux variations admissibles de n et de g'.

« Les expériences rapportées sur la planche XV l'ont été de cette « manière, en faisant varier proportionnellement n et g' selon les diffé- « rentes natures de terrain. On voit que deux des rectangles s'élèvent « au-dessus de toutes les courbes qui pourroient réunir les autres; et « cela doit être, parce qu'il y a eu à leur égard défaut de bourrage.

« D'après la position des rectangles entre eux et par rapport aux « courbes théoriques qui en approchent le plus, il devient facile de « juger les expériences qui restent à faire : il conviendroit entre autres « de remplir les lacunes, de renouveler les expériences qui donnent « $n = 3$, d'en faire même au-delà, de s'assurer du maximum pour les « camouflets, et d'essayer des charges entre ce maximum et celle du « fourneau simple. »

2.° *Charges relatives à la destruction des galeries.*

« Considérons un fourneau chargé de manière que le solide d'activité « soit tangent au terrain; c'est le camouflet au maximum. Nous pou- « vons supposer dans ce cas que ce solide est une sphère, parce que

« l'action de la poudre éprouve alors une résistance à peu près égale « dans tous les sens. Mais si la charge est assez forte pour former un en- « tonnoir, le solide d'activité ne peut plus être une sphère; il s'allongera « nécessairement beaucoup plus dans le sens horizontal, où toutes les « résistances se font équilibre, que dans le sens vertical, où les terres « de l'entonnoir font le moins de résistance. Par analogie, supposons, « 1.° que ce soit une ellipsoïde dont le centre soit celui des poudres; 2.° que « l'ellipse passe par l'extrémité du rayon de l'entonnoir; 3.° que ses axes « soient entre eux dans le rapport de s à h. En comptant les x du centre, « l'équation de l'ellipse aura cette forme : $y = \frac{a}{b}\sqrt{b^2 - x^2}$. a et b « sont des constantes qu'il s'agit de déterminer. L'une est la moitié du « grand axe, et l'autre la moitié du petit. L'ellipse devant passer par le « point o, on aura $y = r$ quand $x = h$, ce qui donne $r = \frac{a}{b}\sqrt{b^2 - h^2}$; « d'où $b^2 = \frac{a^2 h^2}{a^2 - r^2}$.

« La seconde condition donne $a : b :: s : h$; d'où l'on tire $b^2 = \frac{a^2 h^2}{s^2}$. « Égalant les deux valeurs de b^2, on a $s^2 = a^2 - r^2 = h^2 + r^2$. Cette « dernière équation donne $a = \sqrt{h^2 + 2r^2}$; ou, parce que $r = nh$, « $a = h\sqrt{1 + 2n^2}$. Substituant cette valeur dans l'équation $b = \frac{ah}{s}$, « on aura $b = h\sqrt{\frac{(1 + 2n^2)}{(1 + n^2)}}$.

« L'équation de l'ellipse, qui remplit les conditions ci-dessus énoncées, « est donc : $y = \sqrt{1 + n^2} \times \sqrt{\left(\frac{1 + 2n}{1 + n^2}\right) h^2 - x^2}$. (A).

« Actuellement, si l'on donne h, x et y, il sera facile de trouver n ou « le rayon de l'entonnoir, et par conséquent la charge correspondante.

« x et y étant données, on peut supposer $x = gh$, $y = kh$: or l'équa- « tion (A) donne $y^2 = (1 + 2n^2)\, h^2 - (1 + n^2)\, x^2$, ou, en substituant « pour x sa valeur, $y^2 = h^2\left(1 + 2n^2 - (1 + n^2)\, q^2\right) = \left(1 - q^2\right.$ « $\left. + (2 - q^2)\, n^2\right) h^2$. De cette dernière équation on tire $\frac{y^2}{h^2}$

« $= 1 - q^2 + (2 - q^2) n^2$; d'où $n^2 = \dfrac{\frac{y^2}{h^2} + q^2 - 1}{2 - q^2} = \dfrac{k^2 + q^2 - 1}{2 - q^2}$,

« dont enfin l'on déduira $\sqrt{2 - q^2} : \sqrt{k^2 + q^2 - 1} :: 1 : n$.

« Cette proportion, qui donne facilement n par le calcul, fournit « aussi un moyen commode de trouver r graphiquement, en prenant « h pour l'unité.

« Le demi-grand axe de l'ellipse, ou a, $= h\sqrt{1 + 2n^2}$: faisant $n = 1$, « il vient $a = h \times 1{,}732$; faisant $n = 3$, il vient $a = h \times 4{,}358$. « Comme ces deux valeurs de a sont assez exactement, d'après l'ex- « périence, les distances horizontales auxquelles les galeries de cons- « truction ordinaire se trouvent crevées dans les deux hypothèses de « n, nous regarderons les solides d'activité, représentés par les ellip- « soïdes dont la formule vient d'être donnée, comme les solides ou « ellipsoïdes de rupture. Nous allons voir d'ailleurs qu'ils conviennent « au petit nombre d'expériences qui ont été faites sur des galeries « placées au-dessous du plan horizontal des poudres. Dans l'*applica-* « tion il ne faut pas oublier que pour enfoncer une galerie il suffit « qu'un de ses angles se trouve sur la surface de l'ellipsoïde, et que « par conséquent le sol de cette galerie peut être verticalement au- « dessous, d'une quantité presque égale à sa hauteur.

« Les galeries crevées à Bizy et à Potsdam ont été rapportées en pre- « nant toujours pour échelle la ligne de moindre résistance de chaque « fourneau. Les écritures mises à côté sur la planche font voir assez « clairement leur position par rapport à nos ellipsoïdes de rupture. « Ces expériences sont en trop petit nombre pour pouvoir fixer défini- « tivement une théorie; mais elle ne contredisent pas la nôtre, et prou- « vent déjà que le vrai sphéroïde de rupture est extrêmement aplati. »

FIN DES NOTES.

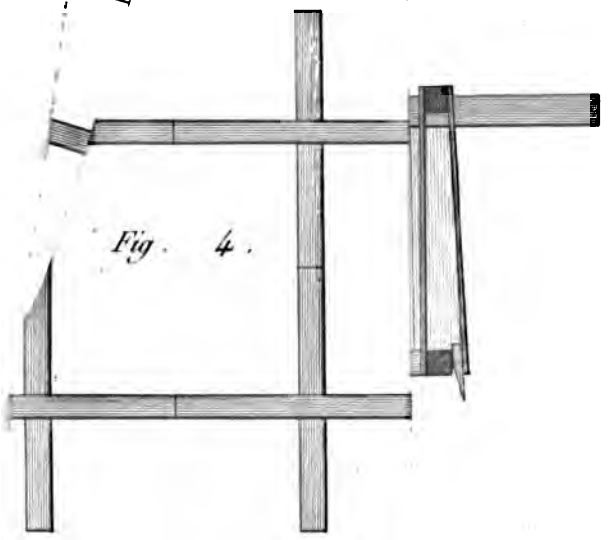


Fig. 4.

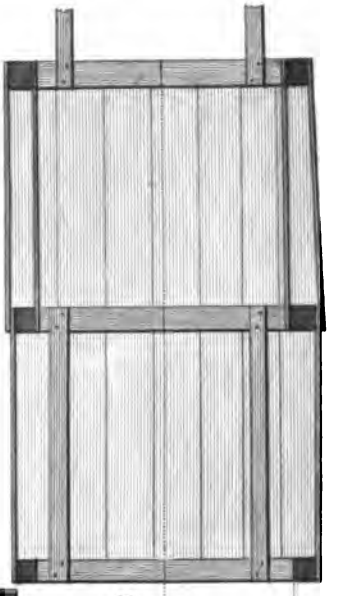


Fig. 11.

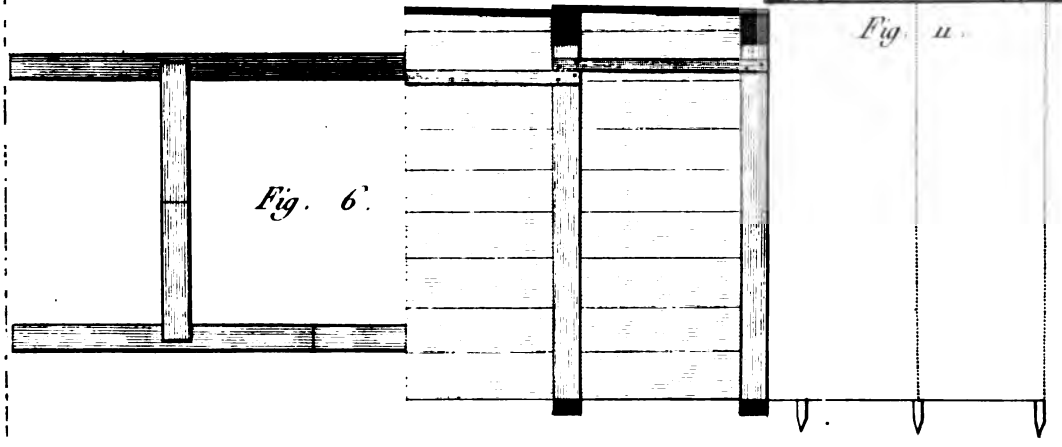


Fig. 6.

Fig. 10.

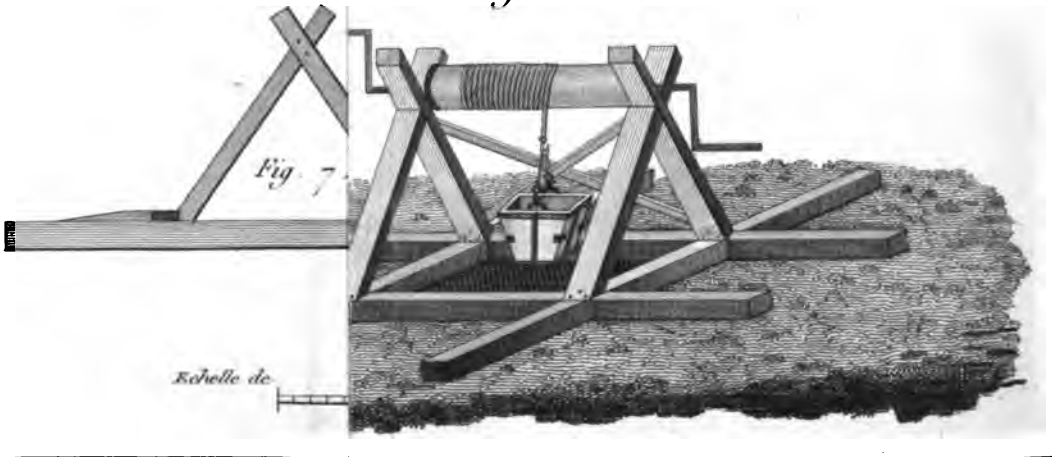


Fig. 7.

Echelle de

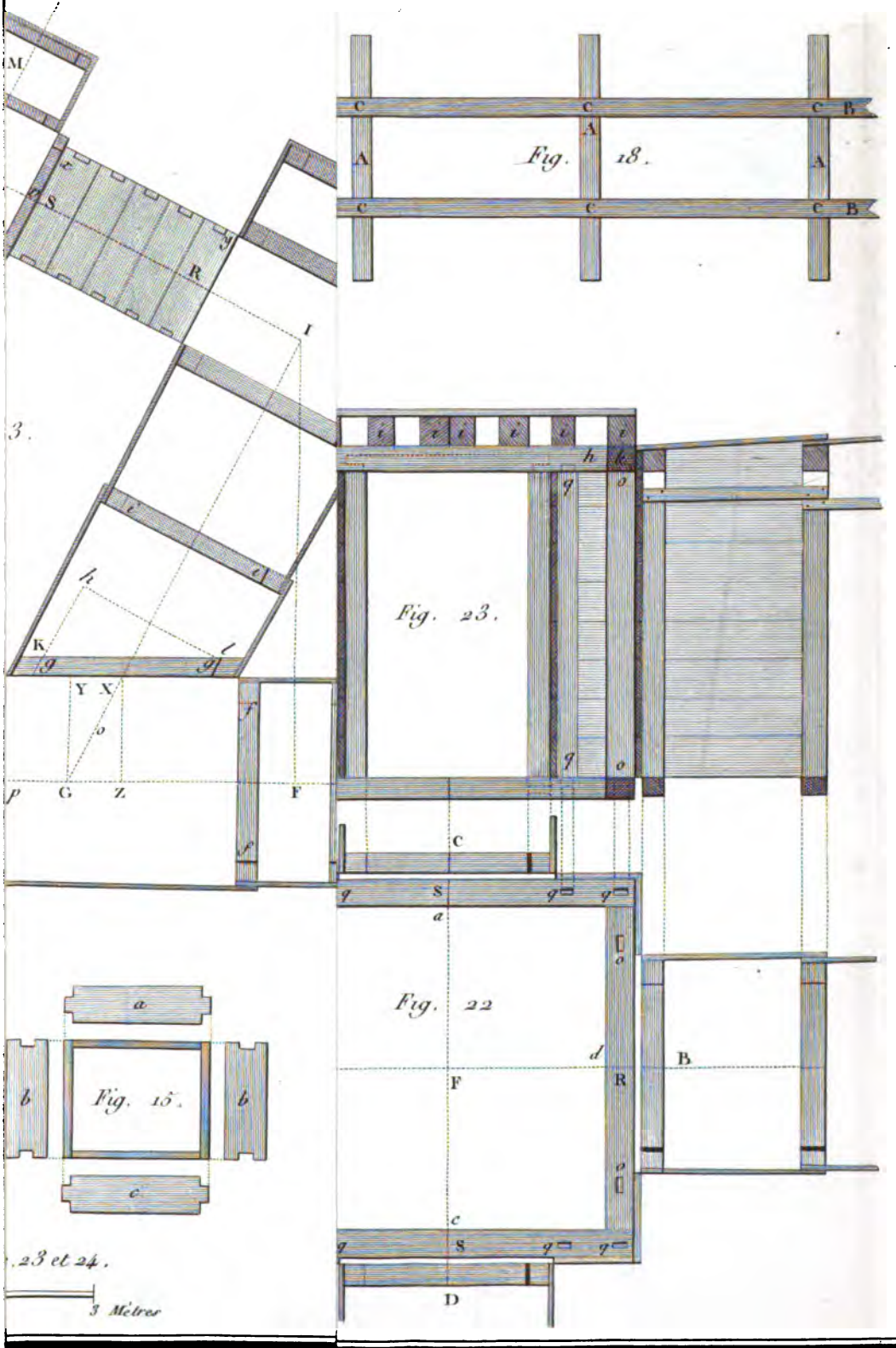


Fig. 18.
Fig. 23.
Fig. 22
Fig. 15.
3.
.23 et 24.
3 Mètres

Pl. 3.

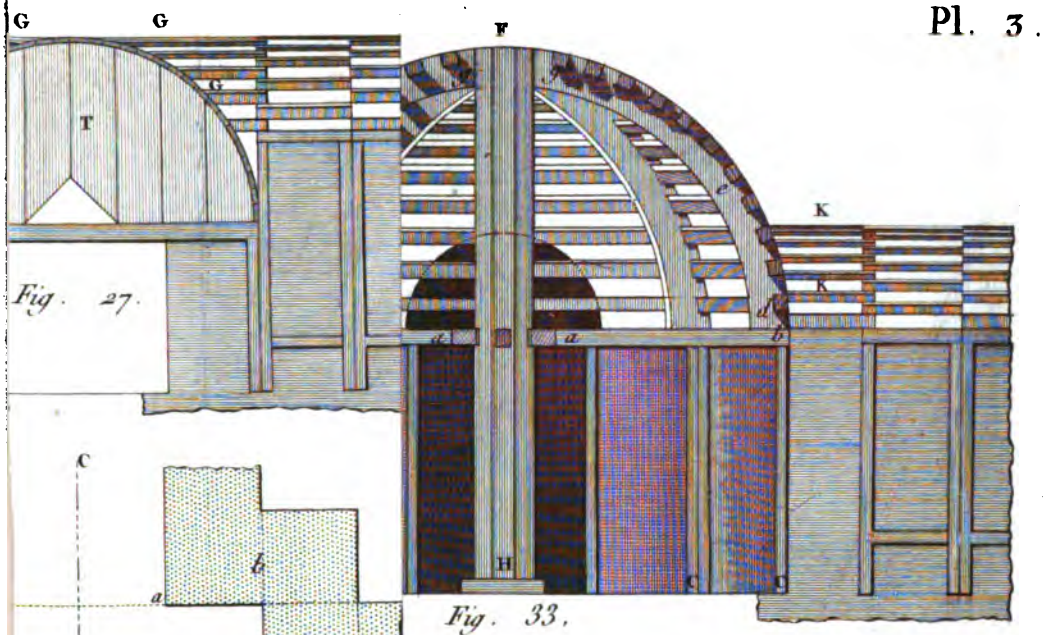


Fig. 27.

Fig. 33.

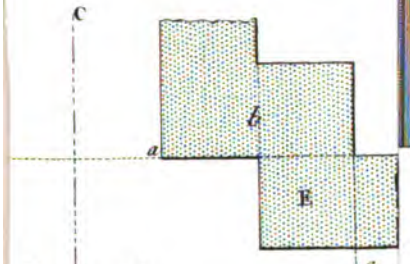


Fig. 26.

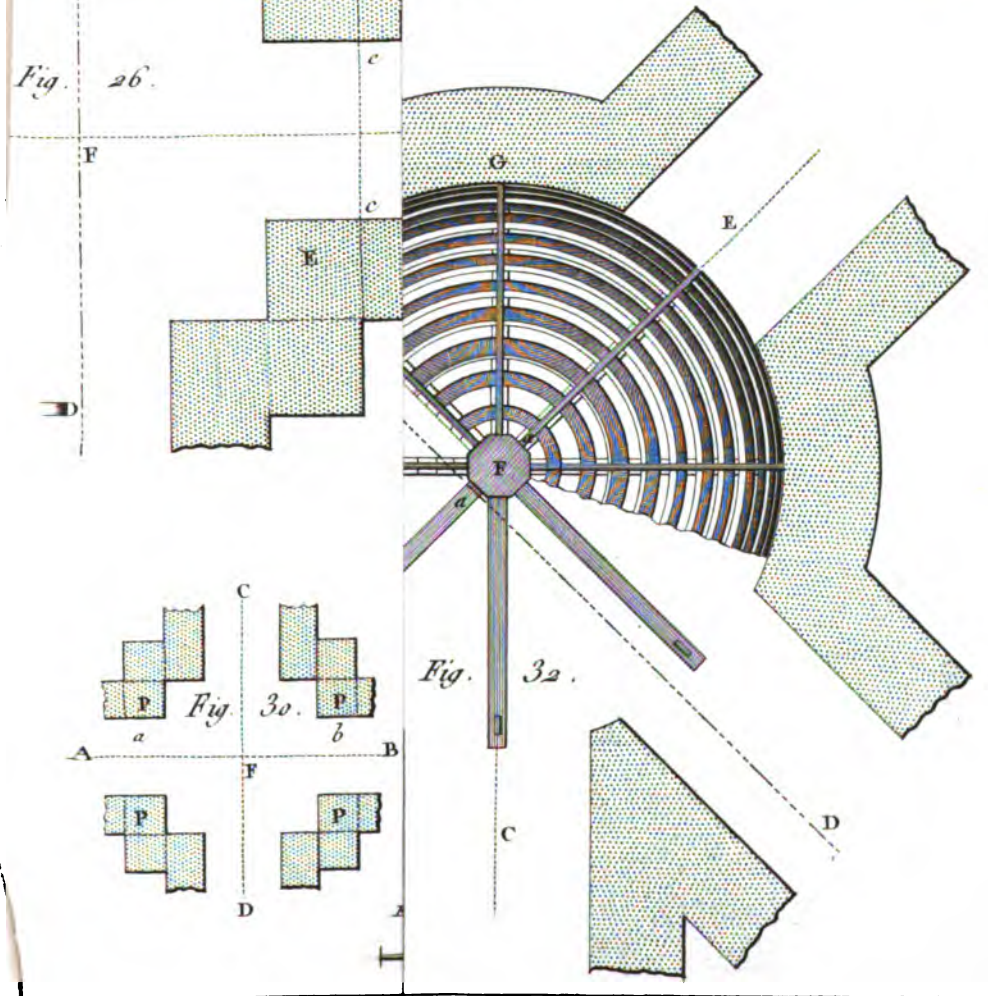


Fig. 32.

Fig. 30.

Fig. 38.

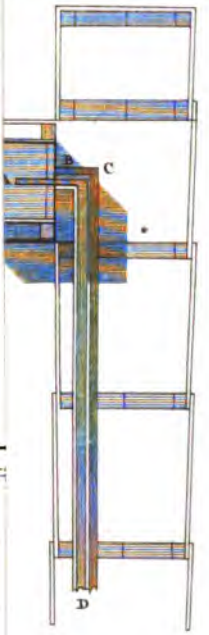


Fig. 40.

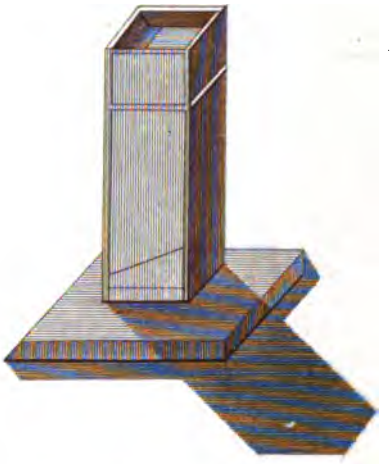
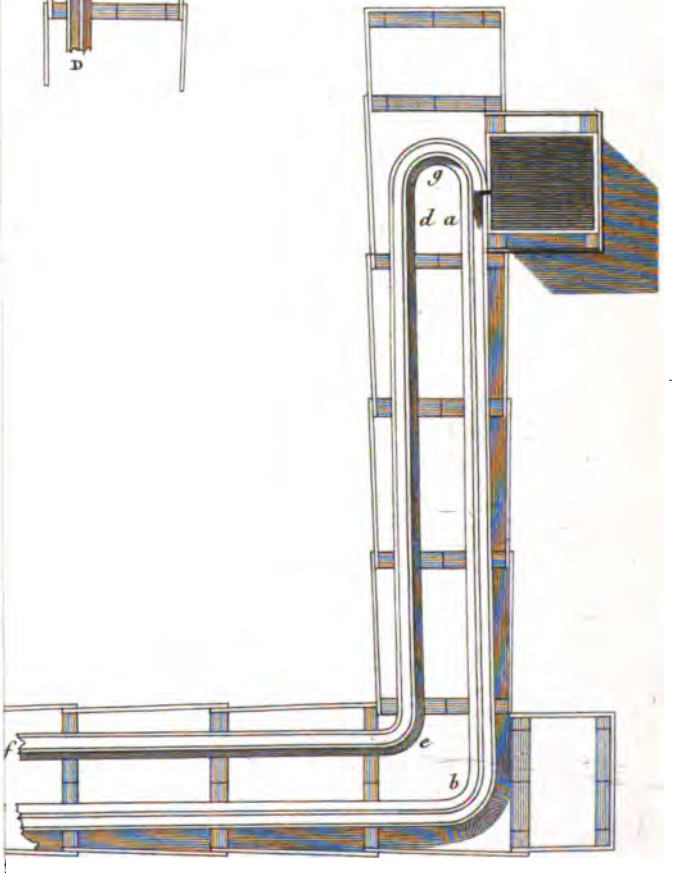
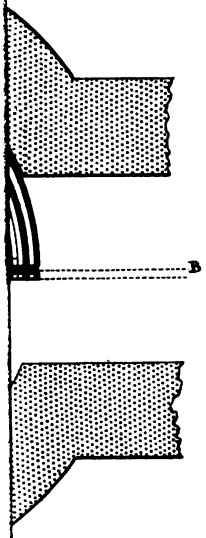
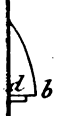


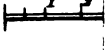
Fig. 41.



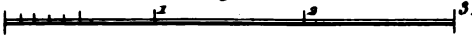


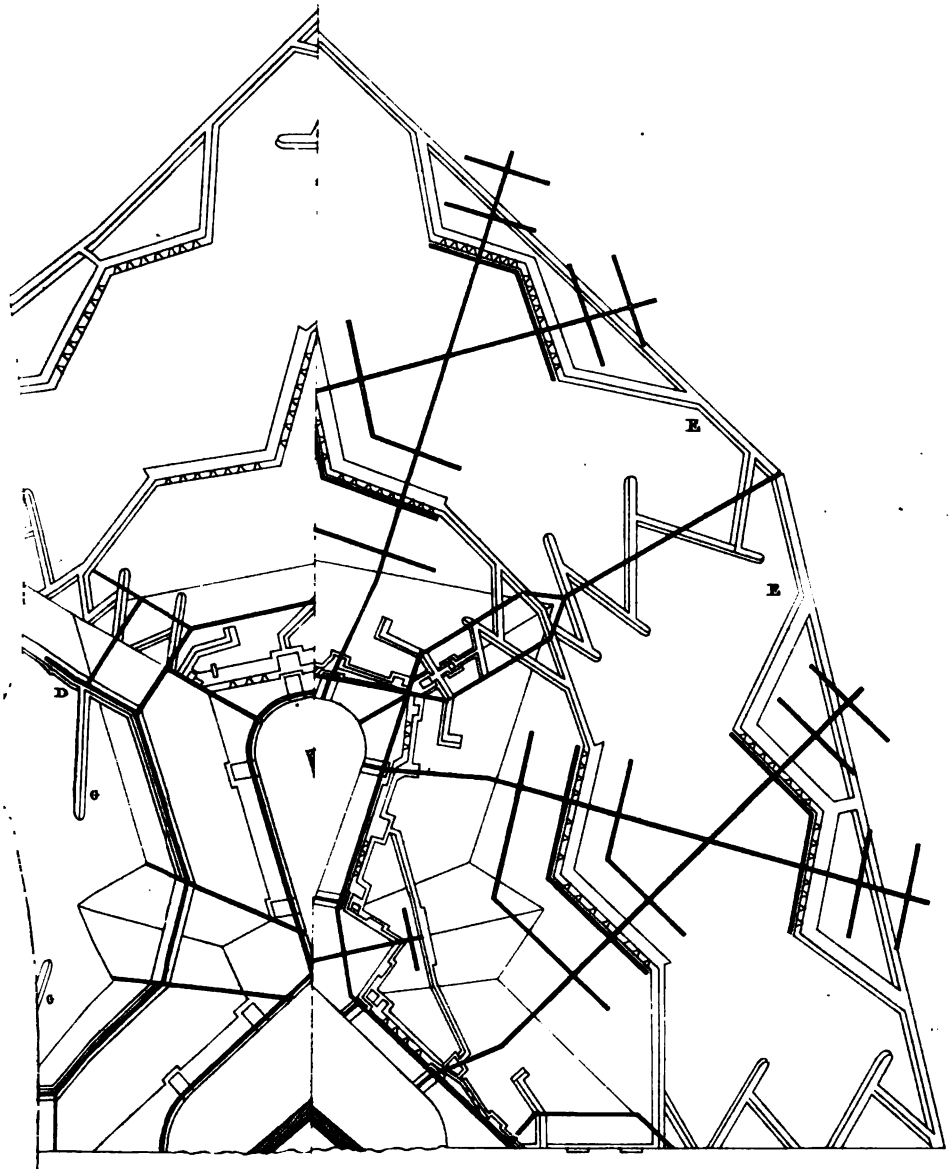


Echelle de



Echelle des Fig. 38 et 41.




E
E
D

Pl. 6.

59.

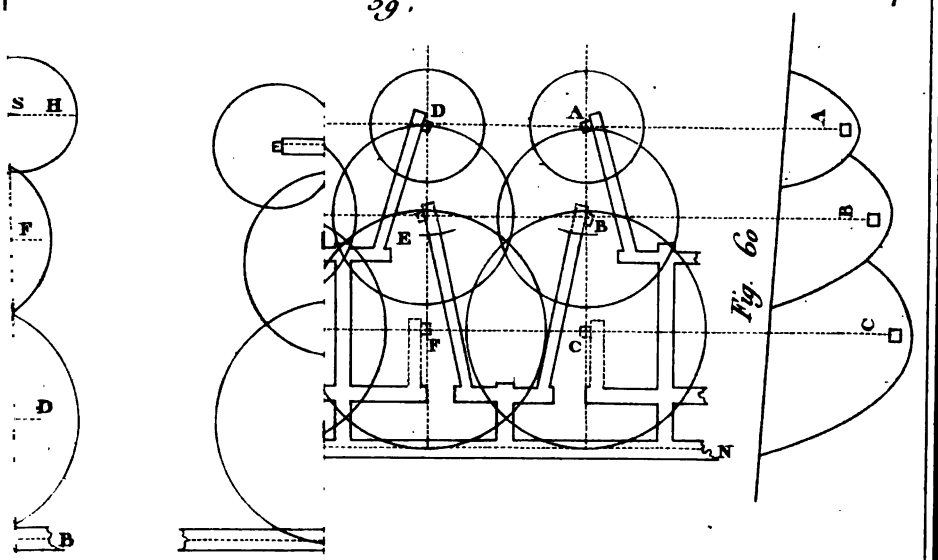


Fig. 60

Fig. 50

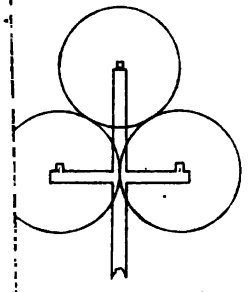


Fig. 58.

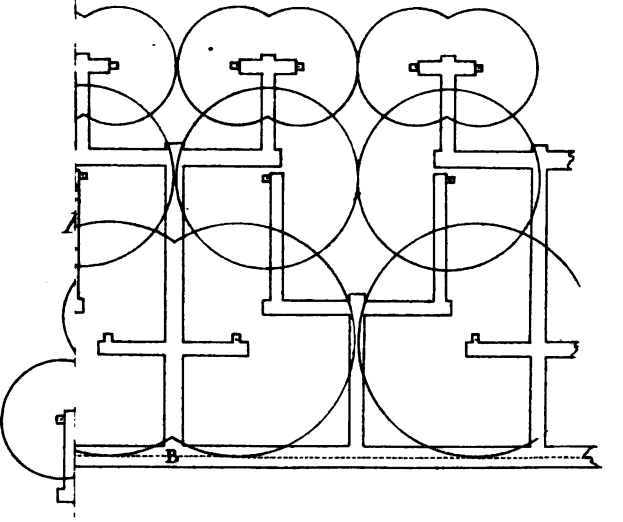
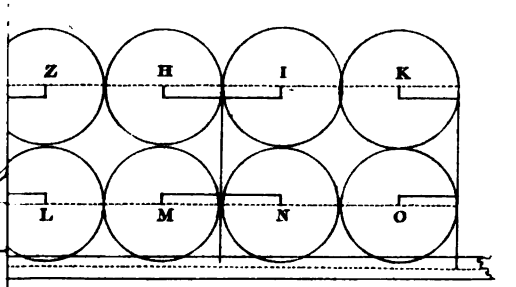


Fig. 54.



re pour deux Metres

20

62.

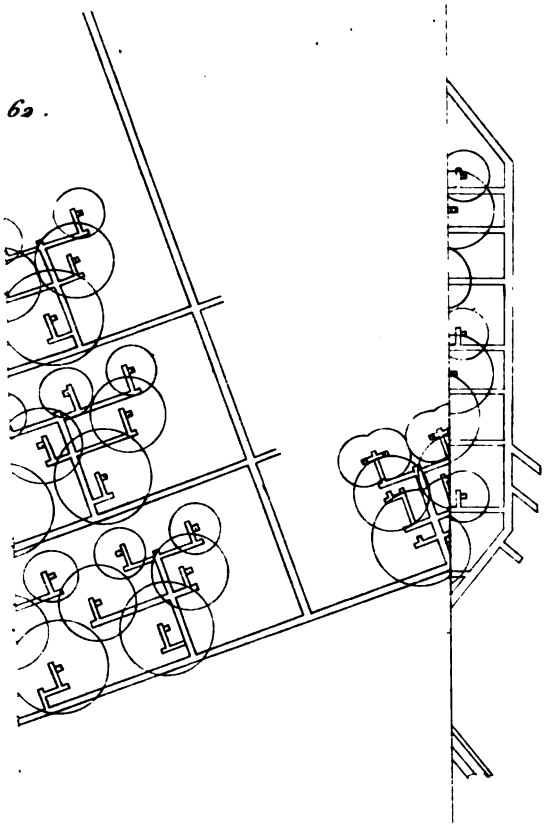
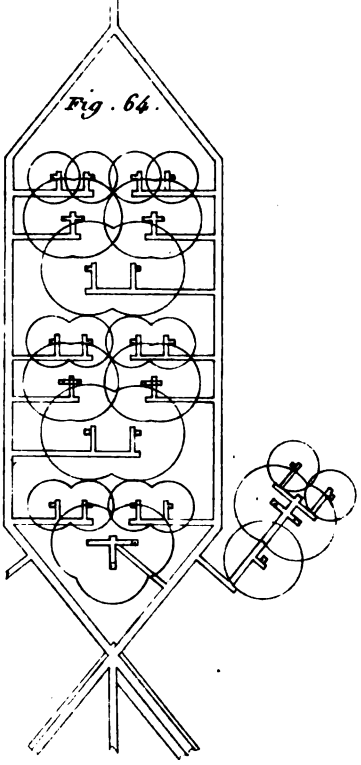


Fig. 64.



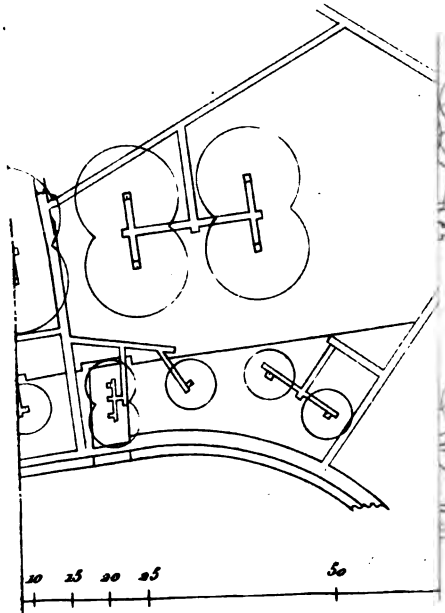


Fig. 68.

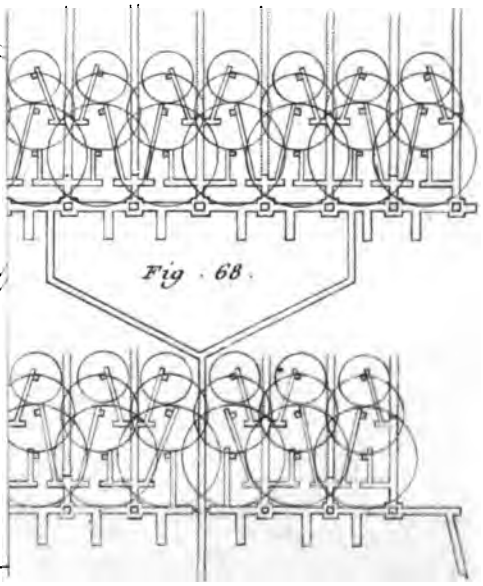
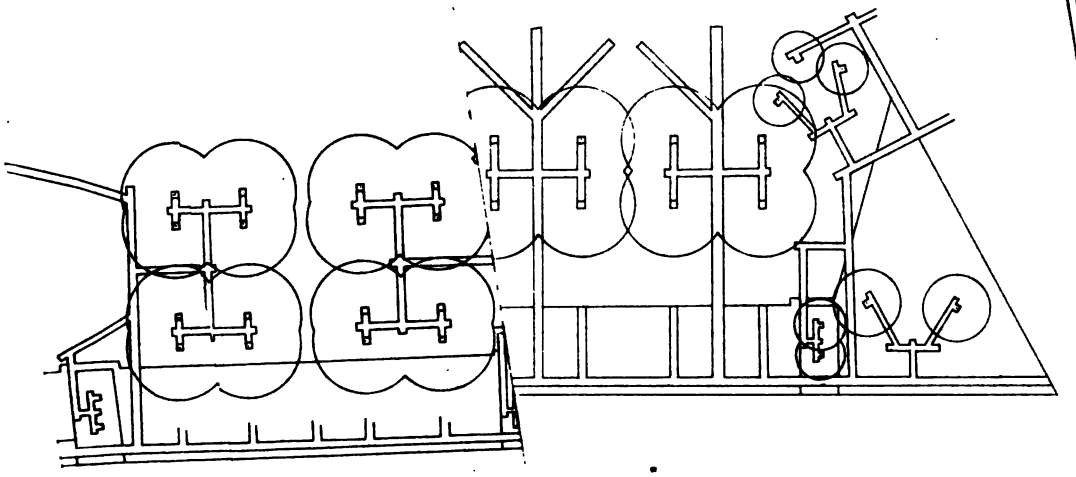


Fig. 71.



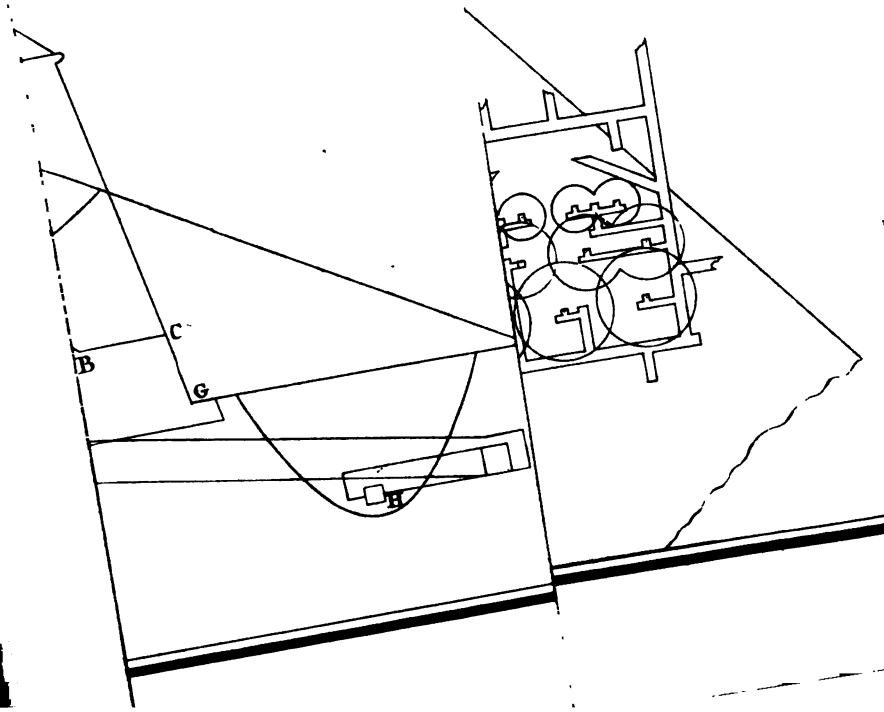
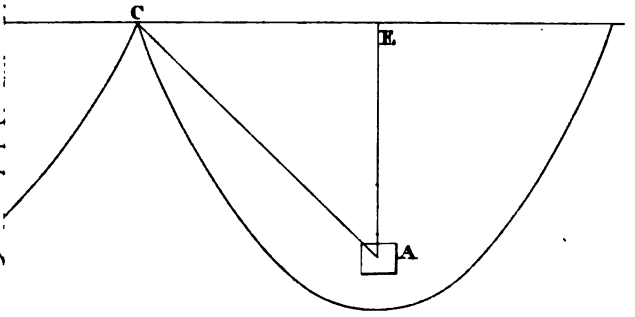


Fig. 79.



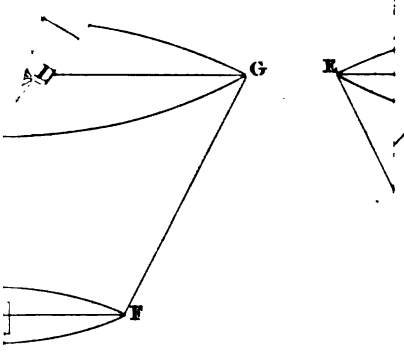


Fig. 83.

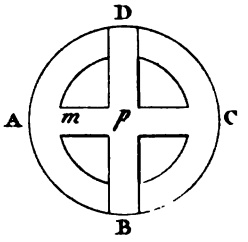


Fig. 84.

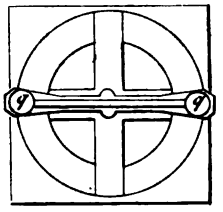
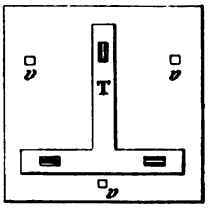
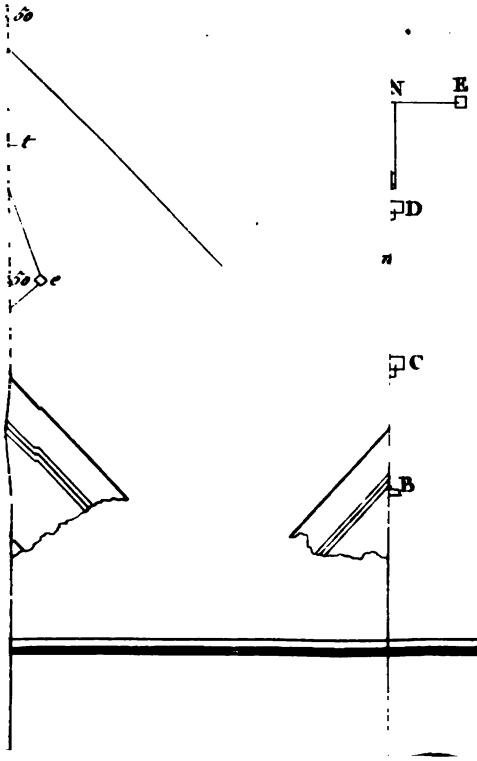


Fig. 86'.





Echelle des figures 83. 84. 85. 86' et 87

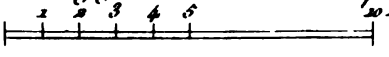
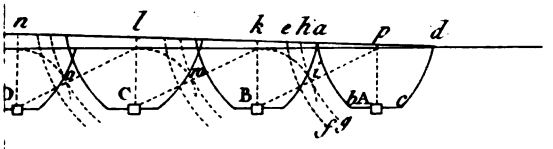
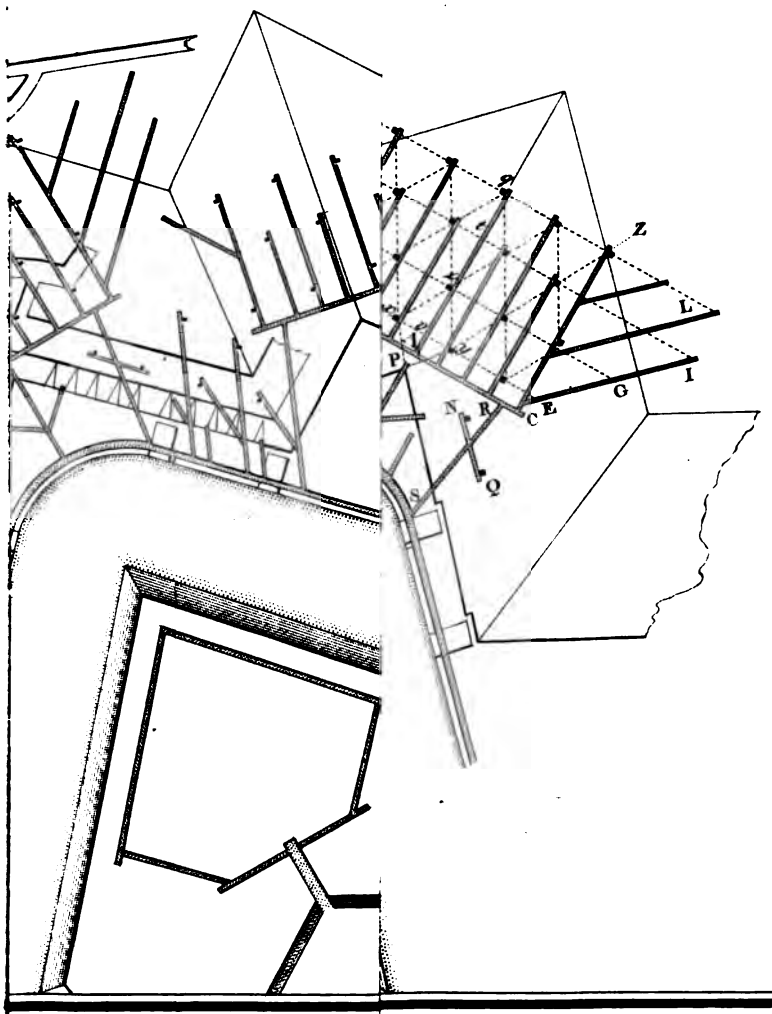


Fig. 94.





ig. 90.

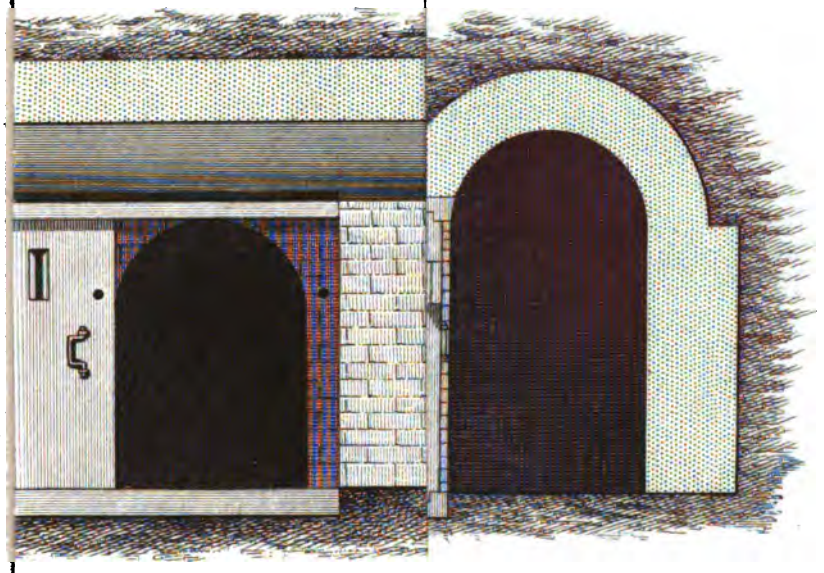


Fig. 91.

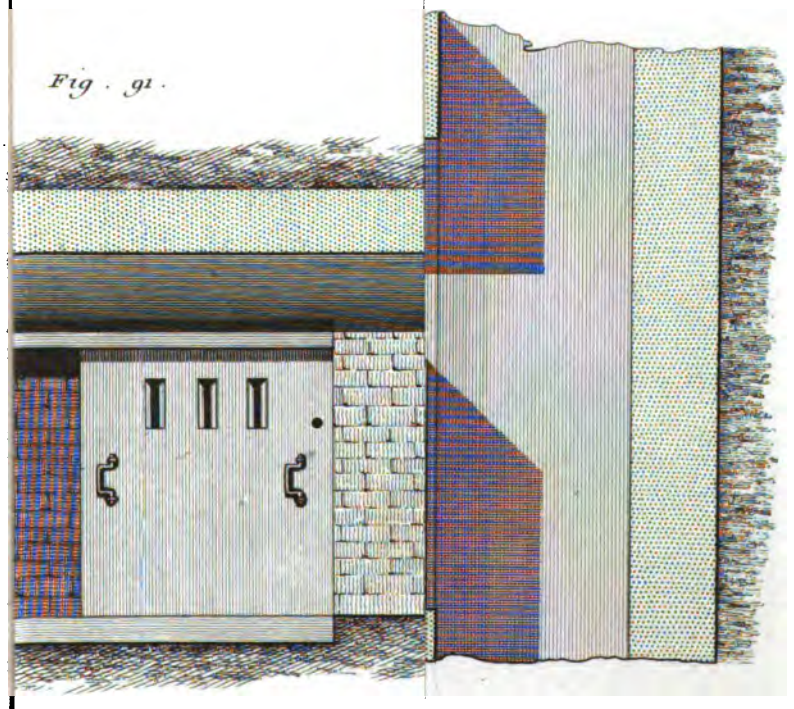
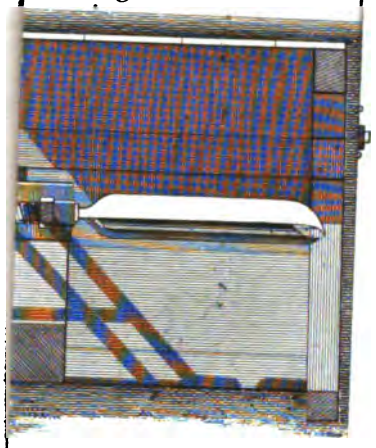


Fig. B.



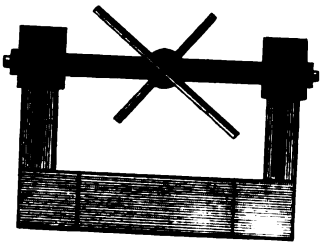
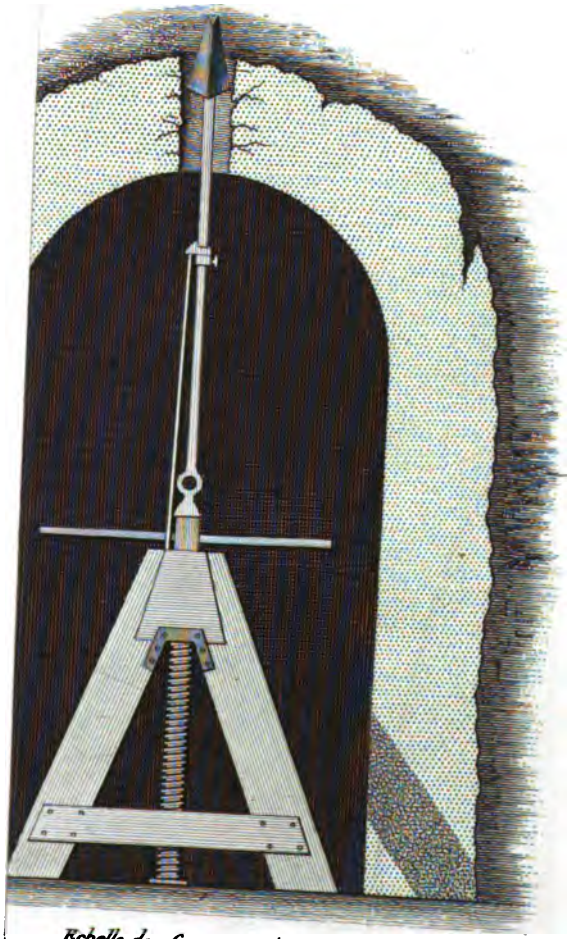
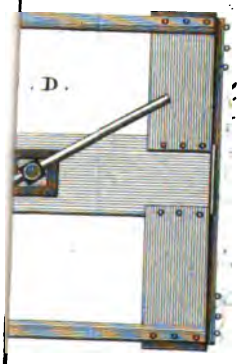


Fig. A.





de la Fig. C.

Echelle des 6 autre Figres

1 2 3 4 5 10 mèt.

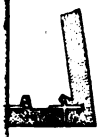


Fig. 99.

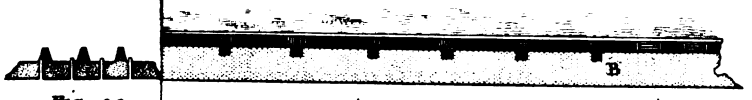
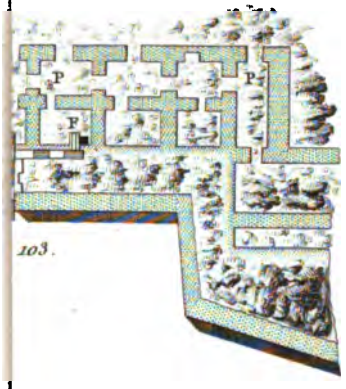


Fig. 102.



103.

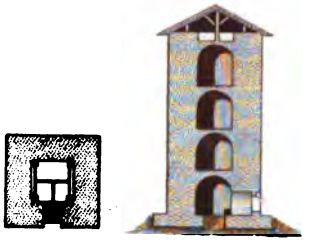


Fig. 106.

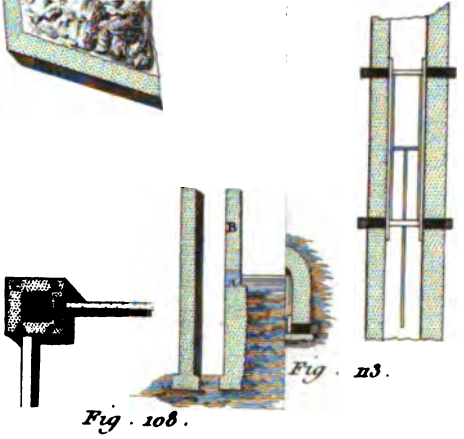


Fig. 108.

Fig. 113.

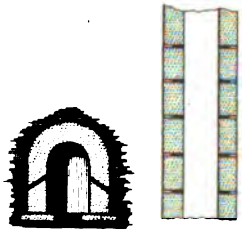
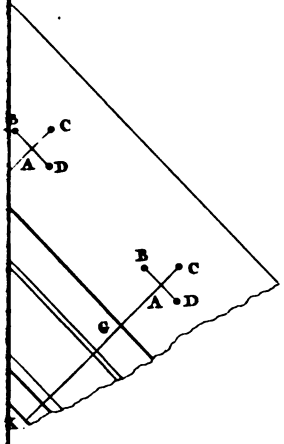
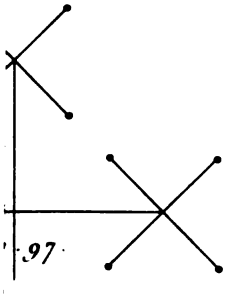
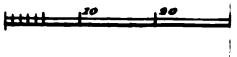


Fig. 114.

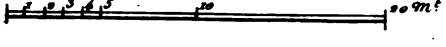


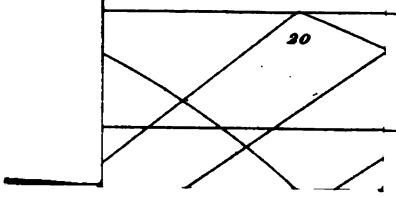


97.



Echelle des Figres 96, 97 et m.





AB, *Ligne de moindre résistance et rayon de l'entonnoir simple.*

BC, *Charge de l'entonnoir simple.*

This book should be returned to
the Library on or before the last date
stamped below.

A fine of five cents a day is incurred
by retaining it beyond the specified
time.

Please return promptly.

Eng 1308.05
Traite pratique et theorique des
Cabot Science 005159379
3 2044 092 000 546